

# Oportunidades energéticas na Continental-Mabor

*Daniel de Almeida Tavares*

**Dissertação do MIEM**  
**Ramo de Energia Térmica**

Orientador FEUP: Prof. Carlos Pinho  
Orientador Continental: Eng<sup>a</sup> Ana Santos

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto  
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Porto, Junho de 2015



# Resumo

Esta dissertação enquadra-se numa parceria entre a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e a Continental-Mabor Indústria de Pneus, SA.

A gestão energética na indústria é um fator crucial para a competitividade das empresas, tendo influência na sustentabilidade do negócio. A energia é amplamente usada nos processos industriais estando a gestão do seu consumo cada vez mais enquadrada com o controlo dos custos de produção.

Este trabalho pretende avaliar alguns dos desperdícios energéticos da fábrica encontrando e analisando soluções para os mesmos. Verificou-se a existência de medidas viáveis de serem aplicadas aos gases de escape da cogeração e às correntes de condensados limpos e sujos. Os sistemas de produção de ar comprimido e de vapor foram também alvos de estudo tendo-se descoberto várias oportunidades.

A combinação das 3 fontes quentes identificadas no parágrafo anterior permite, recorrendo a uma máquina baseada no ciclo de Rankine orgânico, gerar uma potência elétrica de 54 kW equivalendo a ganhos anuais próximos de 40.000,00€, reduzindo a emissão de gases com efeito de estufa em 200 tCO<sub>2</sub>/ano.

Em alternativa, a integração de um *chiller* de absorção na rede de água gelada das extrusoras, usando os gases da cogeração como fonte quente, possibilita uma poupança anual de mais de 60.000,00€ reduzindo as emissões de gases em 306 tCO<sub>2</sub>/ano. Neste caso, só o aproveitamento energético via Rankine orgânico da corrente de condensados limpos levaria a ganhos anuais de cerca de 7.000,00€ reduzindo em 38 tCO<sub>2</sub>/ano as emissões de gases com efeito de estufa.

Pequenas alterações no sistema de ar comprimido como a captação de ar exterior e a redução de pressão, por menor que esta seja, traduzem-se em poupanças significativas devido à baixa eficiência deste tipo de sistemas.

A substituição das válvulas redutoras de pressão, presentes na linha de vapor, por equipamentos de expansão do vapor que permitem em simultâneo a produção de eletricidade possibilita ganhos superiores a 30.000,00€/ano, com uma redução de 160 tCO<sub>2</sub>/ano, mesmo só funcionando 3,5 meses (estação aquecimento).

Todas as sugestões apresentadas representam não só um ganho financeiro como também ecológico, aumentando a eficiência global dos processos promovendo a responsabilidade ambiental da empresa.





# Abstract

The present work has evaluated some of the energy wastes presently found at the Continental-Mabor Indústria de Pneus, S. A. plant in Famalicão, Portugal. It was found that some energy conversion measures could be applied to the cogeneration combustion waste gas stream, as well as the clean and dirt condensates streams. The compressed air and the steam distribution systems were also under analysis.

Through the combined usage of the three waste streams referred in the previous paragraph, the application of an organic Rankine cycle could lead to the production of 54 kW of electrical power, corresponding to an yearly profit of around 40,000.00 € and an equivalent reduction of 200 tCO<sub>2</sub>/year of greenhouse gases.

Alternatively, the integration of an absorption chiller, fed by the exhaust heat from the cogeneration plant, in the extruders cooling water circuit, could lead to an yearly economy of 60,000.00 € and an equivalent reduction of 306 tCO<sub>2</sub>/year of greenhouse gases. In this situation, the profiting of the clean condensate stream would lead to an economy of 7,000.00€ and a greenhouse gas reduction of 38 tCO<sub>2</sub>/year.

Small changes in the compressed air system like the use of external inlet air, and a lower compressed air operating pressure, however small it might be, can also bring some significant economic advantages.

The replacement of some pressure reduction valves in the steam line, by pressure reducing devices that can at the same time produce electricity, will also guarantee profits above 30,000.00€/year with a reduction of 160 tCO<sub>2</sub>/year even for 3.5 months working period, corresponding to the heating season.

All the proposed solutions, besides presenting interesting economic returns and clear environmental advantages, increase the overall performance of the plant and demonstrate the ecological awareness of the company.



# Agradecimentos

Agradeço ao professor Carlos Pinho por toda simpatia e disponibilidade demonstrada, não esquecendo a importante sabedoria científica (e não só) transmitida ao longo deste semestre.

Quero agradecer a hospitalidade, boa disposição e profissionalismo de todos os colaboradores da Continental-Mabor com quem interagi, destacando a equipa do departamento de engenharia que tão bem me acolheu.

Quero transmitir o mais profundo agradecimento aos meus pais por todo o apoio concedido ao longo da minha vida académica.

Agradeço a todos os meus amigos e em especial à minha namorada, Rita Amorim, por toda a paciência e pelos bons momentos passados ao longo deste percurso.

A todos, muito obrigado!



# Índice de conteúdos

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1	A importância do aproveitamento energético .....	3
1.1.1	Panorama energético mundial .....	3
1.1.2	A situação Portuguesa .....	4
1.1.3	O que é o reaproveitamento energético? .....	6
1.1.4	Repartição energética da Continental-Mabor.....	8
1.2	Objetivos.....	10
1.3	Estrutura da dissertação .....	10
<b>2</b>	<b>A Continental .....</b>	<b>13</b>
2.1	Breve nota histórica.....	15
2.2	A Continental-Mabor.....	16
2.3	Outras empresas da Continental em Portugal .....	18
2.3.1	ITA – Indústria Têxtil do Ave, S.A. ....	18
2.3.2	Continental Lemmerz.....	18
2.3.3	Continental Pneus S.A. – CPP .....	19
2.3.4	Continental Teves Portugal – Sistemas de Travagem, Lda .....	19
<b>3</b>	<b>O pneu .....</b>	<b>21</b>
3.1	História .....	24
3.2	Constituição.....	26
3.3	Processo de fabrico.....	28
3.3.1	Receção de matérias-primas .....	28
3.3.2	Misturação .....	29
3.3.3	Preparação .....	30
3.3.4	Construção .....	31
3.3.5	Vulcanização .....	32
3.3.6	Inspeção final .....	33

3.3.7	Armazém do produto acabado.....	33
<b>4</b>	<b>As Utilidades na Continental-Mabor .....</b>	<b>35</b>
4.1	Produção de vapor de água.....	37
4.1.1	Caldeira recuperativa (cogeração) .....	37
4.1.2	Caldeira convencional.....	38
4.2	Produção de ar comprimido .....	38
4.3	Produção de vácuo .....	39
4.4	Sistemas de arrefecimento .....	40
4.5	Tratamento de águas .....	40
4.5.1	ETA – Estação de tratamento de águas.....	40
4.5.2	ETARI – Estação de tratamento de águas residuais .....	41
<b>5</b>	<b>Fontes térmicas e sua quantificação.....</b>	<b>43</b>
5.1	A corrente de <i>blowdown</i> .....	45
5.1.1	Recolha de dados.....	45
5.1.2	Estimativa do caudal a circular.....	45
5.2	A corrente de condensados .....	48
5.2.1	Recolha de dados.....	48
5.2.2	Estimativa do caudal a circular.....	48
5.3	Os gases de escape da cogeração .....	50
5.3.1	Recolha de dados.....	50
5.3.2	Análise à combustão.....	50
5.4	Fonte fria .....	54
<b>6</b>	<b>O ciclo de Rankine orgânico .....</b>	<b>55</b>
6.1	Considerações gerais.....	57
6.1.1	Esquema de princípio .....	59
6.1.2	Fluidos de trabalho.....	59
6.1.3	Principais aplicações.....	61
6.2	Estudo termodinâmico .....	64
6.2.1	Uma fonte quente.....	65
6.2.2	Duas fontes quentes.....	72

6.2.3	Três fontes quentes .....	74
6.2.4	Outros fluidos orgânicos.....	77
6.2.5	Conclusões da análise termodinâmica .....	79
6.3	Contato com fabricantes.....	80
6.3.1	Enogia .....	80
6.3.2	Rank.....	83
6.3.3	ElectraTherm .....	86
6.3.4	Conclusões do contato com fabricantes.....	89
<b>7</b>	<b>O <i>chiller</i> de absorção .....</b>	<b>93</b>
7.1	Considerações gerais .....	95
7.1.1	Princípio de funcionamento.....	96
7.1.2	Aplicações .....	98
7.2	Contacto com fabricantes .....	100
7.3	Estudo de integração na rede de água gelada da extrusão.....	101
7.3.1	Descrição do projeto.....	101
7.3.2	Definição de parâmetros relevantes.....	102
7.3.3	Simulações do fornecedor .....	107
7.3.4	Análise financeira e ambiental .....	109
<b>8</b>	<b>O ar comprimido.....</b>	<b>111</b>
8.1	Considerações gerais .....	113
8.1.1	Sugestões de poupança .....	114
8.2	Medidas de poupança analisadas .....	117
8.2.1	A redução da pressão .....	118
8.2.2	A captação de ar exterior.....	118
<b>9</b>	<b>Aproveitamento energético de reduções de pressão.....</b>	<b>121</b>
9.1	Considerações gerais .....	123
9.2	Situação atual da Continental .....	123
9.3	Estudo teórico.....	124
9.3.1	Solução 1 .....	125
9.3.2	Solução 2.....	126

9.3.3	Solução 3 .....	127
9.3.4	Conclusões do estudo termodinâmico .....	129
9.4	Contato com fabricantes .....	129
9.4.1	Siemens.....	129
9.4.2	Practical Steam .....	130
9.4.3	Análise financeira .....	132
9.4.4	Conclusões do contacto com fabricantes.....	134
<b>10</b>	<b>Conclusões e trabalhos futuros .....</b>	<b>135</b>
10.1	Conclusões .....	137
10.2	Trabalhos Futuros .....	140
<b>Referências.....</b>		<b>141</b>
<b>Anexo A: Códigos EES.....</b>		<b>145</b>
<b>Anexo B: ElectraTherm.....</b>		<b>151</b>
<b>Anexo C: Enogia.....</b>		<b>170</b>
<b>Anexo D: Rank.....</b>		<b>174</b>
<b>Anexo E: York.....</b>		<b>190</b>
<b>Anexo F: Siemens.....</b>		<b>193</b>
<b>Anexo G: Practical Steam.....</b>		<b>203</b>

## Índice de Figuras

Figura 1.1 - Consumo mundial de energia 1980-2030 (1). ....	3
Figura 1.2 - Distribuição da energia mundial por setor no ano de 2(2). ....	4
Figura 1.3 - Evolução da potência instalada relativa à energia eólica (4). ....	5
Figura 1.4 - Esquema representativo de um caloducto (8). ....	7
Figura 1.5 - Distribuição mensal da energia primária consumida(9). ....	9
Figura 1.6 - Consumo específico mensal vs meta (2013) (9).....	9
Figura 2.1 – Primeira fábrica da Continental, Hannover 1874 (34). ....	15
Figura 2.2 - A presença do grupo Continental é visível nos div (34).....	15
Figura 2.3 - O “cavalo galopante” foi introduzido como imagem de(41)....	16
Figura 2.4 - Fábrica da Mabor, Lousado 1946 (11). ....	17
Figura 2.5 - Fotografia aérea da ITA (42).....	18
Figura 2.6 - Instalações da Continental Teves, Palmela (43). ....	19
Figura 3.1 - A resistência ao rolamento e a travagem em p (12).....	23
Figura 3.2 - Rácio altura/largura de um pneu, também chama(12).....	24



Figura 3.3 - Construção diagonal vs construção radial, adaptado de (12).	25
Figura 3.4 - Constituição do pneu 205/55 R 16 91W Ce (12).....	26
Figura 3.5 - Principais elementos estruturais do pneu, adaptado de (12)...	27
Figura 3.6 - Principais etapas do processo de fabrico de um pneu.....	28
Figura 3.7 - As matérias-primas são devidamente armazenadas (14).....	29
Figura 3.8 - Principais elementos constituintes de um misturador(14). ....	29
Figura 3.9 - Exemplo de uma calandra (14).....	31
Figura 3.10 - Etapas da construção, adaptado de (14).....	31
Figura 3.11 - Principais componentes de uma prensa de vulcaniza(14). ....	32
Figura 3.12 - Inspeção visual de um pneu (14).....	33
Figura 3.13 - Armazém do produto acabado (12). ....	33
Figura 4.1 - Esquema presente na monitorização da caldeira recuperativa.	37
Figura 4.2 - Exemplo de um dos compressores de alta pressão (44).....	38
Figura 4.3 - Esquema da central de vácuo (16).....	39
Figura 4.4 - Principais constituintes da ETA.....	40
Figura 4.5 - Esquema de funcionamento da ETARI. ....	41
Figura 6.1 - Ciclo de Rankine: esquema de princípio e diagram (35).....	57
Figura 6.2 - Equipamento Turboden (potência elétrica até 3MW) (49).....	58
Figura 6.3 - Ciclo de Rankine orgânico com recuperação de calor (20).....	59
Figura 6.4 - Tipos de fluidos de trabalho, adaptado de (47). ....	60
Figura 6.5 - Gases de escape e vapor “flash” (36) .....	61
Figura 6.6 - Aproveitamento da energia solar num ciclo de Ra(37).....	62
Figura 6.7 - Energia geotérmica (24).....	63
Figura 6.8 - A biomassa é um recurso abundante em regiões (38).....	63
Figura 6.9 - Ciclo de Rankine orgânico que utiliza como fonte .....	65
Figura 6.10 - Diagramas temperatura-entropia representativos do cicl.....	67
Figura 6.11 - Ciclo de Rankine orgânico que utiliza como fo. ....	68
Figura 6.12 – Diagramas temperatura-entropia representativos do .....	69
Figura 6.13 - Ciclo de Rankine orgânico que utiliza como font.....	70
Figura 6.14 - Diagramas temperatura-entropia representativos do ciclo d..	71
Figura 6.15 - Ciclo de Rankine orgânico que utiliza como fontes quentes...	72
Figura 6.16 - Diagramas temperatura-entropia representativos do cic.....	74
Figura 6.17 - Ciclo de Rankine orgânico que utiliza as 3 fontes quentes....	75
Figura 6.18 - Diagramas temperatura-entropia representati .....	76
Figura 6.19 - Diagrama T-s do isopentano.....	77

Figura 6.20 - Diagrama T-s relativo ao R123. ....	78
Figura 6.21 - Equipamento ORC (Enogia).....	91
Figura 7.1 - <i>Chiller</i> de absorção de simples efeito YORK (39).....	95
Figura 7.2 - <i>Chiller</i> de absorção de simples efeito, adaptado de (27). ....	96
Figura 7.3 - Aplicação de um <i>chiller</i> de absorção com r (50). ....	98
Figura 7.4 - <i>Chiller</i> de absorção num sistema de trigerção (50).....	99
Figura 7.5 - Energia solar como fonte quente de um <i>chill</i> (50). ....	99
Figura 7.6 – Energia geotérmica como fonte quente de um <i>chi</i> (50). ....	100
Figura 7.7 - Esquema representativo dos diferentes circuitos. ....	103
Figura 7.8 - Aplicação da Primeira Lei da Termodinâmica. ....	104
Figura 8.1 - Distribuição dos custos durante o tempo de vida (30).....	113
Figura 8.2 - Os aparelhos ultrassónicos são considerados dos (40). ....	114
Figura 8.3 - Aquecimento de ar com recurso ao calor libe(45). ....	116
Figura 9.1 - Esquema representativo da rede de vapor entre a .....	123
Figura 9.2 -Esquema representativo da inclusão de uma turb.....	125
Figura 9.3 - Diagrama temperatura-entropia relativo à solução 1. ....	126
Figura 9.4 - Esquema representativo da inclusão de um turbi .....	126
Figura 9.5 - Diagrama temperatura-entropia relativo à solução 2. ....	127
Figura 9.6 - Esquema representativo da inclusão de um tur. ....	128
Figura 9.7 - Diagrama temperatura entropia relativo à solução 3. ....	128
Figura 9.8 - Equipamento proposto pela Siemens, adaptado de (48).....	130
Figura 9.9 - Esquema de montagem do motor, adaptado de (46).....	131

## Índice de Tabelas

Tabela 1.1 - Fatores de conversão para as diferentes formas de energia. (9).8	
Tabela 1.2 – Energia consumida pela fábrica no ano de 2013. (9).....	8
Tabela 5.1 – Resumo das medições efetuadas à corrente de desca .....	45
Tabela 5.2 - Registo do contador de vapor para o dia em que foram r .....	46
Tabela 5.3 - Médias mensais do caudal total de vapor produzido .....	46
Tabela 5.4 - Valor médio, máximo e mínimo de vapor para o pro. ....	47
Tabela 5.5 - Valor médio, máximo e mínimo estimado para o caud.....	47
Tabela 5.6 - Valor médio da temperatura e pressão no tanque de .....	48
Tabela 5.7 - Percentagem de vapor recirculado em função do uso d.....	49
Tabela 5.8 - Estimativa do caudal médio de vapor recirculado p.....	49
Tabela 5.9 - Valor médio, máximo e mínimo das estimativas para o cau....	49

Tabela 5.10 - Frações mássicas dos gases de escape (corrigidas).....	53
Tabela 5.11 - Resumo das fontes térmicas identificadas.....	53
Tabela 6.1 - Condições iniciais para os diferentes casos de estudo c .....	66
Tabela 6.2 - Resultados obtidos para os diferentes casos de e.....	67
Tabela 6.3 - Condições iniciais para os diferentes casos de estudo consider	68
Tabela 6.4 - Resultados para os diferentes casos de estudo consid.....	69
Tabela 6.5 - Condições iniciais para os diferentes casos de estudo conside .	70
Tabela 6.6 - Resultados para os diferentes casos de estudo considerando c	71
Tabela 6.7 - Condições iniciais para os diferentes casos de estudo consider	73
Tabela 6.8 - Resultados para os diferentes casos de estudo considerando co	73
Tabela 6.9 - Condições iniciais para os diferentes casos de estudo consider	75
Tabela 6.10 - Resultados para os diferentes casos de estudo consider.....	76
Tabela 6.11 - Resultados da simulação usando como fluido de tr .....	77
Tabela 6.12 - Resultados da simulação usando como fluido de t.....	78
Tabela 6.13 - Comparação entre os 3 fluidos estudados.....	78
Tabela 6.14 – Soluções apresentadas pela Enogia. ....	81
Tabela 6.15 - Estudo económico relativo à solução 1 da Enogia.....	82
Tabela 6.16 - Estudo económico relativo à solução 2 da Enogia.....	82
Tabela 6.17 - Soluções apresentadas pela Rank. ....	83
Tabela 6.18 - Estudo económico relativo à solução 1 da Rank.....	84
Tabela 6.19 - Estudo económico relativo à solução 2 da Rank.....	85
Tabela 6.20 - Estudo económico relativo à solução 3 da Rank.....	85
Tabela 6.21 - Soluções apresentadas pela ElectraTherm .....	87
Tabela 6.22 - Estudo económico relativo à solução 1 da ElectraTherm. ....	87
Tabela 6.23 - Estudo económico relativo à solução 2 da ElectraTherm. ....	88
Tabela 6.24 - Estudo económico relativo à solução 3 da ElectraTherm. ....	88
Tabela 6.25 - Propostas relativas ao aproveitamento das 3 fontes quentes.	89
Tabela 6.26 - Proposta relativa ao aproveitamento dos condensa.....	90
Tabela 6.27 - Proposta relativa ao aproveitamento dos gases de escape. ....	90
Tabela 6.28 - Proposta relativa ao aproveitamento da corrente d .....	90
Tabela 7.1 - Potência de frio, elétrica e preço de <i>chillers</i> de a .....	100
Tabela 7.2 - Potência de frio, elétrica e preço de <i>chillers</i> conven .....	101
Tabela 7.3 - Propriedades e dados de funcionamento dos <i>chillers</i> da .....	102
Tabela 7.4 - Resultados das simulações pedidas à YORK.....	107
Tabela 7.5 - Análise financeira <i>chiller</i> absorção. ....	110

Tabela 8.1 - Dados relativos aos compressores durante o ano .....	118
Tabela 8.2 - Poupança obtida através da redução de pressão .....	118
Tabela 8.3 - Diferença entre as temperaturas de insuflação de u .....	119
Tabela 9.1 - Caudais médios de vapor das linhas de 10, 7 e 3,5 bar (r). ...	124
Tabela 9.2 - Resultados para a solução 1.....	125
Tabela 9.3 - Resultados para a solução 2.....	127
Tabela 9.4 - Resultados da solução 3.....	128
Tabela 9.5 - Proposta apresentada pela Siemens.....	129
Tabela 9.6 - Proposta apresentada pela Practical Steam.....	132
Tabela 9.7 - Estudo económico da aplicação do motor PSE, reduç.....	132
Tabela 9.8 - Parâmetros financeiros e ambientais em função da ut.....	133
Tabela 10.1 – Quadro resumo das soluções estudadas.....	139

# Nomenclatura

## Variáveis latinas

$(AC)_{est,recup}$	Razão ar-combustível estequiométrica, caldeira recuperativa	[-]
$(AC)_{est,turb}$	Razão ar-combustível estequiométrica, turbina	[-]
$(AC)_{real,recup}$	Razão ar-combustível real, caldeira recuperativa	[-]
$(AC)_{real,turb}$	Razão ar-combustível real, turbina	[-]
$C_{absorcao}$	Consumo elétrico anual <i>chiller</i> absorção	[kWh]
$C_{agua}$	Calor específico da água líquida	[J · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]
$C_{convencional}$	Consumo elétrico anual <i>chillers</i> convencionais	[kWh]
$e_{ar}$	Excesso de ar	[-]
$f_{kwh-CO2}$	Fator de conversão consumo elétrico-emissões CO <sub>2</sub>	[kgCO <sub>2</sub> · kWh <sup>-1</sup> ]
$g$	Aceleração da gravidade	[m · s <sup>-2</sup> ]
$h_{bomba}$	Altura manométrica da bomba	[m]
$\dot{m}_{aguaquente}$	Caudal mássico da corrente de água quente	[kg · s <sup>-1</sup> ]
$\dot{m}_{ar,turbina}$	Caudal mássico do ar admitido na turbina	[kg · s <sup>-1</sup> ]
$\dot{m}_{blowdown}$	Caudal mássico da água de <i>blowdown</i>	[kg · s <sup>-1</sup> ]
$\dot{m}_{CH4,recup}$	Caudal mássico de combustível admitido na recuperativa	[kg · s <sup>-1</sup> ]
$\dot{m}_{CH4,turb}$	Caudal mássico de combustível admitido na turbina	[kg · s <sup>-1</sup> ]
$\dot{m}_{gases,escape}$	Caudal mássico dos gases de escape	[kg · s <sup>-1</sup> ]
$\dot{m}_{tarref,ab}$	Caudal mássico da água de dissipação de calor do ch. absorção	[kg · s <sup>-1</sup> ]
$\dot{m}_{tarref,cv}$	Caudal mássico da água de dissipação de calor dos ch. convencionais	[kg · s <sup>-1</sup> ]
$\dot{m}_{vap,processo}$	Caudal mássico de vapor destinado ao processo	[kg · s <sup>-1</sup> ]
$\dot{m}_x$	Caudal mássico do ponto <i>x</i>	[kg · s <sup>-1</sup> ]
$\dot{Q}_{chiller,ab}$	Potência de frio cedida pelo <i>chiller</i> de absorção	[kW]
$\dot{Q}_{chiller,cv}$	Potência de frio cedida pelos <i>chillers</i> convencionais	[kW]
$\dot{Q}_{fq}$	Potência calorífica total cedida pelas fontes quentes	[kW]
$\dot{Q}_{input,chiller}$	Potência calorífica cedida pela fonte que alimenta o <i>chiller</i>	[kW]
$\dot{Q}_{tarref,ab}$	Pot. calorífica que o <i>chiller</i> absorção liberta para o circuito de dissipação de calor	[kW]
$\dot{Q}_{tarref,cv}$	Pot. calorífica que os <i>chillers</i> convencionais libertam para o circuito de dissipação de calor	[kW]

$R_{CO_2}$	Redução das emissões de CO <sub>2</sub> por ano	[kgCO <sub>2</sub> /ano]
$R_W$	Redução percentual do trabalho de compressão	[%]
$s$	Entropia específica	[kJ · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]
$S_{compressores}$	Poupança anual obtida através da captação de ar exterior	[€]
$T_{ext}$	Temperatura do ar exterior	[°C]
$T_{gases,saida}$	Temperatura dos gases de escape após o permutador	[°C]
$T_{in}$	Temperatura do ar de admissão do compressor	[°C]
$T_x$	Temperatura do ponto $x$	[°C]
$\dot{V}_{CH4,recup}$	Caudal volúmico de combustível admitido na recuperativa	[m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup> ]
$\dot{V}_{CH4,turb}$	Caudal volúmico de combustível admitido na turbina	[m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup> ]
$\dot{W}_b$	Potência da bomba	[kW]
$\dot{W}_e$	Potência elétrica	[kW]
$\dot{W}_{el,bomba}$	Potência elétrica consumida por uma bomba	[W]
$\dot{W}_{elet,ab}$	Pot. elétrica consumida pelo <i>chiller</i> de absorção	[kW]
$\dot{W}_{elet,cv}$	Pot. elétrica consumida pelos <i>chillers</i> convencionais	[kW]
$\dot{W}_{el,aguaquente}$	Pot. de bombagem do circuito de água quente ( <i>input</i> ) do <i>chiller</i>	[W]
$\dot{W}_{el,tarref,adic}$	Pot. de bombagem adicional no circuito de dissipação de calor	[W]
$W_{ext}$	Trabalho de compressão usando ar exterior	[J]
$W_{in}$	Trabalho de compressão usando ar interior	[J]
$\dot{W}_{liq}$	Potência líquida (diferença entre a elétrica gerada e a da bomba)	[kW]
$\dot{W}_{turb}$	Potência da turbina	[kW]
$x_x$	Título (qualidade) do vapor às condições $x$	[%]

### Variáveis gregas

$\Delta P$	Variação de pressão	[Pa]
$\Delta T_{aguaquente}$	Variação temperatura circuito de água quente do <i>chiller</i> ( <i>input</i> )	[°C]
$\Delta T_{tarref}$	Variação de temperatura do circuito dissipação calor do <i>chiller</i>	[°C]
$\Delta \dot{m}_{tarref}$	Caudal adicional necessário ao circuito dissipação calor ch. absorção	[kg · s <sup>-1</sup> ]
$\varepsilon_{eco}$	Eficiência térmica do economizador	[-]
$\eta_{alt}$	Rendimento do alternador	[%]
$\eta_{bomba}$	Rendimento da bomba	[%]
$\eta_{isen}$	Rendimento isentrópico	[%]
$\eta_{ins}$	Rendimento da instalação	[%]

$\rho_{\text{agua}}$	Massa volúmica da água	[kg · m <sup>-3</sup> ]
$\rho_{\text{CH}_4}$	Massa volúmica do metano	[kg · m <sup>-3</sup> ]

### Siglas

AQS	Águas quentes sanitárias
AVAC	Aquecimento, ventilação e ar condicionado
CHP	Combined heat and power
COV	Composto orgânico volátil
EER	Energy efficiency rating
EES	Engineering equation solver
GEE	Gases com efeito de estufa
GWP	Global warming potential
I&D	Investigação e desenvolvimento
ODP	Ozone depletion potential
ORC	Organic Rankine cycle
tep	Toneladas equivalentes de petróleo
TIR	Taxa interna de retorno (IRR em Inglês)
VAL	Valor atualizado líquido
VRP	Válvula redutora de pressão (PRV em Inglês)
VSD	Variable speed drive





# Capítulo 1

## Introdução

*A importância do aproveitamento energético. Objetivos e estrutura da dissertação.*



# 1.1 A importância do aproveitamento energético

## 1.1.1 Panorama energético mundial

A eficiência energética é, atualmente, um aspecto de extrema relevância na estratégia de desenvolvimento das sociedades modernas, tendo implicações a nível não só ambiental como da própria economia. Face ao elevado consumo dos recursos, o desafio passa pela racionalização destes, sem que se comprometa a competitividade dos processos e indústrias.

Após a revolução industrial, o consumo energético da sociedade tem crescido acentuadamente. Esta situação tem provocado um aumento da procura dos combustíveis de origem fóssil, como o carvão, petróleo e o gás natural. Como se constata na figura seguinte, é previsível que o consumo mundial de energia aumente cerca de 30% desde 2010 até 2030 (1). Os EUA consomem cerca de 25% da energia disponível a nível mundial, porém, a maior taxa de aumento de consumo é a da China, com cerca de 5,5%/ano, sendo considerado um dos países mais emergentes.

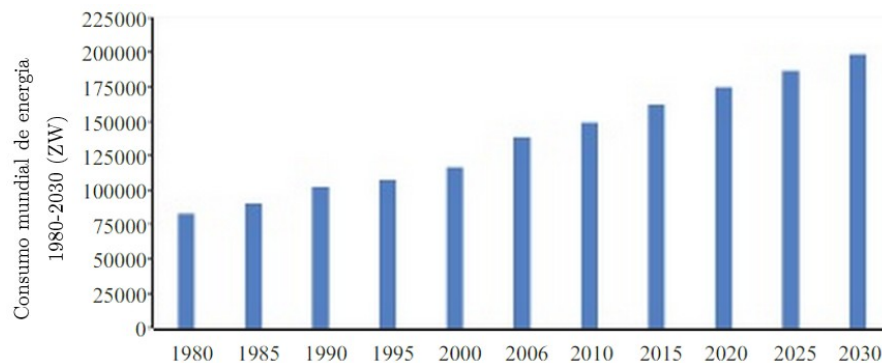


Figura 1.1 - Consumo mundial de energia 1980-2030 (1).

A nível do consumo energético mundial, por setor, a maior fatia vai para a indústria com cerca de 50%, seguindo-se os sistemas de transporte, com 20% (2), Figura 1.2. Sendo assim, as principais medidas e estratégias devem incidir sobre estes dois setores.

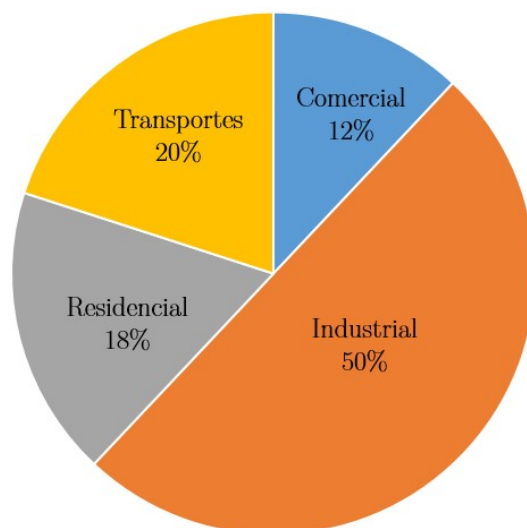


Figura 1.2 - Distribuição da energia mundial por setor no ano de 2011, adaptado de (2).

O desafio da energia é visto como uma das maiores provas que a Europa tem de enfrentar. Serão necessárias dezenas de anos para orientar os sistemas energéticos para uma via mais segura e sustentável. Contudo, é necessário que todas as medidas sejam corretamente aplicadas uma vez que o insucesso na realização de um mercado de energia a funcionar corretamente implica o aumento dos custos para os consumidores pondo em risco a competitividade da Europa (3).

Em seguida será feita uma breve abordagem da situação portuguesa no que à energia diz respeito.

### 1.1.2 A situação Portuguesa

Portugal é um país com escassos recursos energéticos fósseis, nomeadamente aqueles que asseguram a generalidade das necessidades energéticas da maioria dos países desenvolvidos (como o petróleo, o carvão e o gás natural) (4).

A escassez destes recursos conduz a uma elevada dependência energética do exterior (79,4% em 2012) (4). Importa assim aumentar a contribuição das fontes de energia renováveis: hídrica, eólica, solar, geotérmica, biomassa no panorama energético nacional (atualmente existe uma discussão acerca da inclusão da geotérmica no pacote das renováveis visto esta estar relacionada com o decaimento radioativo no interior do planeta (5)). Na Figura 1.3 está presente a evolução da potência instalada em Portugal no que à energia eólica diz respeito. Algumas zonas de Portugal possuem as condições ideais para o bom funcionamento deste tipo de

recurso, sendo visível o acentuado crescimento do mesmo ao longo da última década.

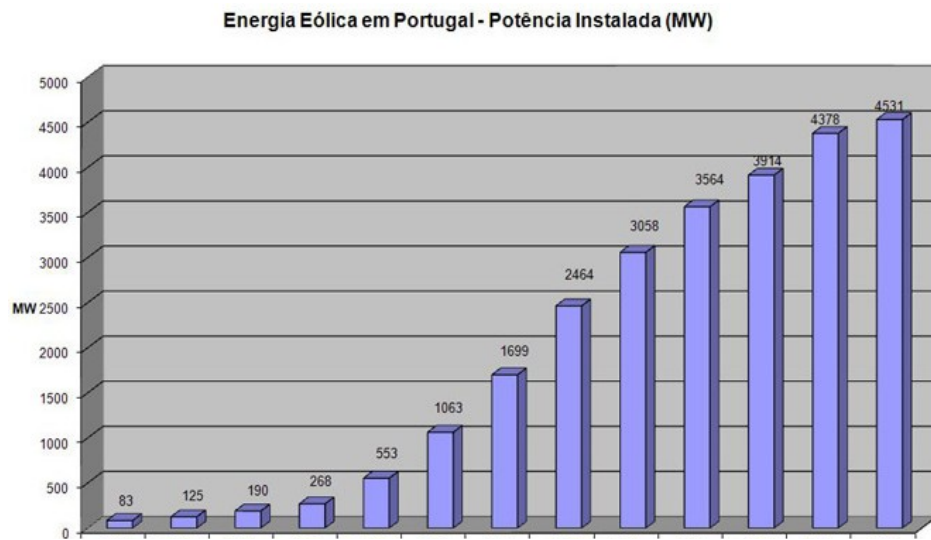


Figura 1.3 - Evolução da potência instalada relativa à energia eólica em Portugal entre 2000-2012 (4).

As atividades do setor energético têm um impacto significativo no ambiente, em especial nas alterações climáticas, pelo que a definição de políticas energéticas e ambientais exige cada vez mais um processo cooperativo entre estas duas vertentes. Uma estratégia integrada permitirá encontrar um ponto de equilíbrio entre a viabilidade técnico-económica e as condicionantes ambientais, tendo em devida consideração a relação custo-eficácia, o desenvolvimento social e a segurança contribuindo para um desenvolvimento sustentável e não hipotecando a competitividade das empresas.

Quer a nível nacional, quer a nível comunitário, tem havido um esforço de integração de políticas energética-ambientais. O Pacote Energia-Clima, Energia 2020, veio estabelecer como metas (3):

- Redução de 20% do consumo de energia primária em 2020;
- Incorporação de 20% de energias renováveis no consumo bruto de eletricidade, existindo ainda uma meta mínima vinculativa de 10% de incorporação de energias renováveis nos transportes;
- Redução de 20% na emissão de Gases com Efeito de Estufa (GEE) até 2020.

O investimento em projetos de investigação e desenvolvimento (I&D) nesta área permitirá a criação de tecnologias cada vez mais eficientes promovendo de

forma sustentável a competitividade das indústrias e o crescimento económico dos países.

### 1.1.3 O que é o reaproveitamento energético?

O calor industrial desperdiçado diz respeito à energia térmica que é disponibilizada nos processos industriais e que não tem uso prático. Como exemplo pode referir-se os gases de escape descarregados para a atmosfera a temperaturas elevadas, correntes de água quente, a transferência de calor de equipamentos cuja superfície se encontra a elevada temperatura, etc. A quantificação desta energia desperdiçada é um processo difícil porém, segundo alguns estudos corresponde a cerca de 20 a 50% da inicialmente disponível (6). Uma parte da energia é perdida inevitavelmente (limitações termodinâmicas dos processos) porém existe uma grande quantidade do desperdício que pode ser reduzido através do aumento de eficiência dos equipamentos ou da instalação de tecnologias de reaproveitamento energético. Estas tecnologias transformam a energia desperdiçada em útil (energia térmica ou mecânica). Como exemplo de aplicações do calor desperdiçado tem-se o pré-aquecimento de gases ou água, a produção de frio recorrendo a *chillers* de absorção e a produção de eletricidade. Estas tecnologias reduzem o custo operacional das fábricas promovendo um aumento de eficiência energética. Bastantes aplicações já estão bem desenvolvidas, porém algumas (devido ao facto de serem recentes) ainda não são economicamente muito atraentes.

Seguidamente serão apresentadas algumas soluções existentes:

- Recuperadores/economizadores – são simplesmente permutadores de calor que, aproveitando resíduos industriais como água e gases de escape, aquecem outros fluidos (água à entrada da caldeira, ar de combustão, etc);
- Rodas térmicas – Inseridas nos sistemas de climatização, pré-aquecem o ar novo retirando calor ao ar de retorno dos espaços (7);
- Caloductos – Os caloductos conseguem transferir até cerca de 100 vezes mais energia térmica que o cobre. Este equipamento absorve e transfere energia térmica sem recurso a componentes móveis permitindo uma manutenção extremamente reduzida (8) (ver figura 1.4);
- Chillers (refrigeradores) de absorção – Possibilitam a produção de água gelada a partir de água quente ou vapor. Estes equipamentos têm um

consumo elétrico bastante reduzido quando comparados com os *chillers* convencionais de compressão (alvo de análise no capítulo 7);

- Produção de energia mecânica/elétrica – Máquinas baseadas no ciclo de Rankine orgânico convertem a energia térmica desperdiçada em energia mecânica e esta posteriormente em elétrica (alvo de análise no capítulo 6). Além do ciclo de Rankine orgânico pode destacar-se o ciclo de Kalina que é uma variação em que o fluido de trabalho é uma solução de água e amónia;
- Produção de energia elétrica (direta) – Enquanto os ciclos apresentados no ponto anterior utilizam calor para produzir energia mecânica sendo esta posteriormente convertida em elétrica, novas tecnologias estão em desenvolvimento onde o calor é diretamente convertido em energia elétrica. São exemplos destes novos equipamentos: geradores termoelétricos (constituídos por semi-condutores, baseando-se no efeito de Seebeck), geradores termiônicos (semelhantes aos termoelétricos mas operam segundo o efeito termiônico), geradores termofotovoltaicos (convertem energia radiante em eletricidade, aplicados em superfícies a temperaturas elevadas e que emitem grande quantidade de radiação como é por exemplo o caso das caldeiras) (2).

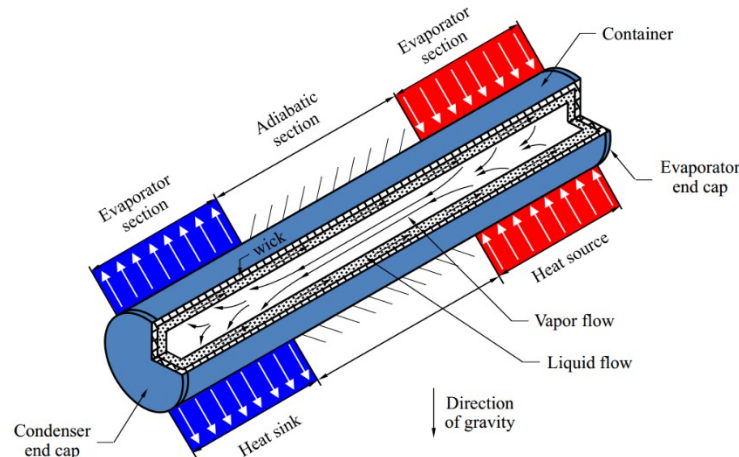


Figura 1.4 - Esquema representativo de um caloduto (8).

Estas são algumas das soluções existentes atualmente para o aproveitamento da energia térmica rejeitada em processos industriais. O grande desafio a curto prazo passa por tornar estas tecnologias mais eficientes (aumentando a viabilidade económica), a longo prazo o foco situa-se no desenvolvimento novas tecnologias com o objetivo de tornar as indústrias cada vez mais sustentáveis.

## 1.1.4 Repartição energética da Continental-Mabor

A empresa consome energia sob três formas: gás natural, energia elétrica e vapor. O gás natural é utilizado como combustível nas caldeiras para a produção de AQS para a cozinha e balneários. A energia elétrica é usada no acionamento de motores de diversos equipamentos e na iluminação dos espaços. O vapor é usado em algumas máquinas (prensas da vulcanização e calandras) e também para aquecimento ambiente nos meses mais frios. A produção de vapor é gerida por uma empresa externa à Continental, entrando por isso, nesta análise, como sendo um produto comprado.

Na tabela seguinte são apresentados os fatores de conversão para GJ, tep e kgCO<sub>2</sub> das 3 formas de energias.

Tabela 1.1 - Fatores de conversão para as diferentes formas de energia (9).

Tipo	GJ	tep	kgCO <sub>2</sub>
Gás natural	37,90 GJ/km <sup>3</sup> (0°C, 1atm)	0,91 tep/k km <sup>3</sup> (0°C, 1atm)	64,10 kgCO <sub>2</sub> /GJ
Eletricidade	3,60 GJ/MWh	0,22 tep/MWh	130,60 kgCO <sub>2</sub> /GJ
Vapor	2,80 GJ/t	0,07 tep/t	72,30 kgCO <sub>2</sub> /GJ

Na tabela abaixo apresentada encontram-se os consumos relativos às 3 formas de energia. Estes dados foram retirados do relatório da última auditoria energética cujo período de análise corresponde ao ano de 2013.

Tabela 1.2 – Energia consumida pela fábrica no ano de 2013 (9).

	Quantidade		Energia				Fatura	
			GJ	%	tep	%	€	%
Gás natural	57,00	km <sup>3</sup> (0°C, 1atm)	2,16	0,2	52,00	0,1	38249	0,2
Eletricidade	143,07	MWh	515,06	53,3	30,76	72,0	12335267	74,4
Vapor	160,17	t	448,30	46,4	11,90	27,9	4217001	25,4
Total			965,52	100,0	42,71	100,0	16590516	100,0

Constata-se então que o maior consumo de energia diz respeito à eletricidade (72,0%), seguindo-se o vapor (27,9%). A empresa teve com a energia um gasto de aproximadamente 16,6 milhões de euros, correspondendo 74,4% à eletricidade.



No gráfico seguinte é visível a distribuição mensal da energia consumida pelas três formas identificadas anteriormente. A produção é interrompida duas semanas em Dezembro e uma em Agosto, sendo notória a redução do consumo de energia neste períodos. É visível também o aumento da produção de vapor nos meses de Inverno devido ao consumo do mesmo por parte dos equipamentos de AVAC.

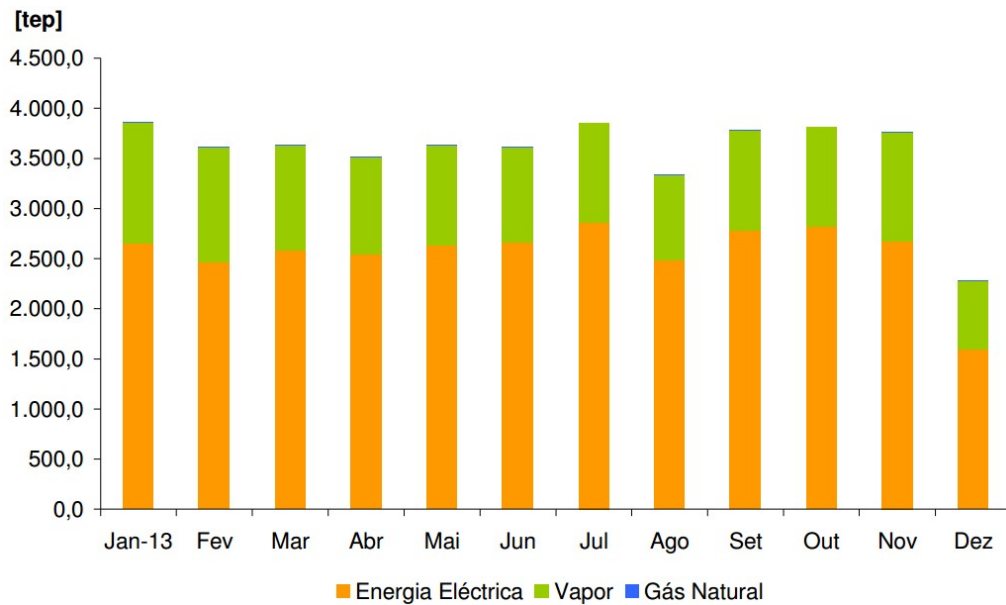


Figura 1.5 - Distribuição mensal da energia primária consumida no ano de 2013 (9).

Na figura em baixo está representado o consumo específico verificado (kgep por tonelada de pneu) e a sua meta prevista para o ano de 2013. Verifica-se que o consumo específico é superior à sua meta em cerca de 7%, encontrando-se ainda dentro dos limites legais não tendo sido aplicada nenhuma coima.

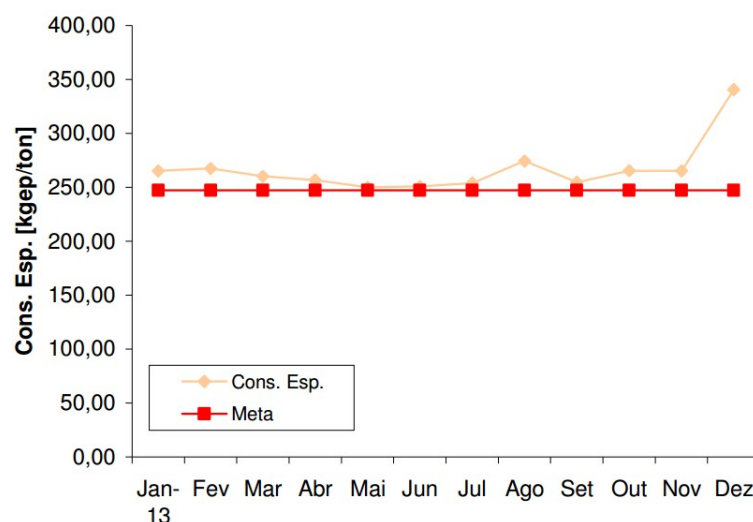


Figura 1.6 - Consumo específico mensal vs meta (2013) (9).

## 1.2 Objetivos

Como principais objetivos desta dissertação podem destacar-se:

- Compreender o processo de fabrico do pneu e a sua importância no desenvolvimento da sociedade;
- Identificar as diferentes utilidades presentes na fábrica (vapor, ar comprimido etc.) e perceber a sua importância no processo produtivo;
- Identificar os principais desperdícios térmicos das diferentes instalações;
- Estudar teoricamente soluções para esses desperdícios térmicos;
- Encontrar soluções no mercado para as diferentes situações;
- Desenvolver o contacto com fabricantes relacionados com as várias soluções propostas;
- Realizar o estudo de viabilidade económica inerente a cada solução;
- Sugerir medidas que aumentem o rendimento energético global dos processos.

## 1.3 Estrutura da dissertação

A estrutura lógica da presente dissertação é resumidamente descrita nos parágrafos que se seguem.

No capítulo 2 é feita uma apresentação do grupo Continental onde se incluem notas históricas relativas à criação da Continental-Mabor e às outras empresas do grupo Continental presentes em Portugal.

No capítulo 3 é estudado o pneu como objeto de destaque no desenvolvimento da sociedade. É descrita, de uma forma resumida, a evolução deste ao longo do tempo bem como a sua constituição média e o atual processo de fabrico.

O 4º capítulo faz a descrição das diferentes utilidades presentes na fábrica. Onde se inclui a produção de vapor de água, ar comprimido, vácuo e frio. É também feita uma breve referência aos processos de tratamento de água realizados na Continental-Mabor.

O capítulo 5 enumera e caracteriza os diferentes desperdícios térmicos identificados.

Nos capítulos 6 e 7 são apresentadas soluções para estes desperdícios térmicos. No primeiro é estudado a aplicação do ciclo de Rankine orgânico e no segundo é

analisada a viabilidade de um *chiller* de absorção (incluindo os respetivos estudos económicos).

No capítulo 8 é analisado o sistema de produção de ar comprimido juntamente com as medidas de poupança passíveis de serem aplicadas ao mesmo.

No 9º capítulo é estudada a aplicação de um equipamento de redução de pressão que permita a produção de eletricidade como alternativa às válvulas redutoras de pressão presentes na rede de vapor.

A dissertação termina com as principais conclusões do trabalho desenvolvido juntamente com sugestões de trabalhos futuros.



# Capítulo 2

## A Continental

*Neste capítulo será feita uma breve apresentação do grupo Continental desde a sua fundação até à entrada em Portugal.*



## 2.1 Breve nota histórica

A Continental AG foi fundada em 1871 na cidade alemã de Hannover, tendo como produção original artefactos de borracha flexível e pneus maciços para carruagens e bicicletas (10).

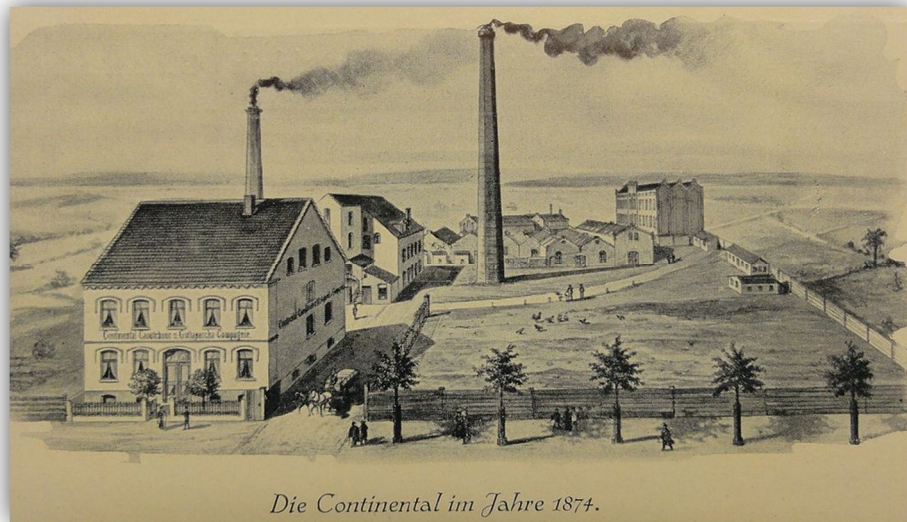


Figura 2.1 – Primeira fábrica da Continental, Hannover 1874 (34).

Em 1898 iniciou a produção de pneus lisos (sem desenho de piso) para automóveis. Desde então acompanha a evolução operada na indústria automóvel com investigação e desenvolvimento de técnicas e equipamentos para a melhoria de pneumáticos. O prestígio da marca Continental há muito ultrapassou as fronteiras da Alemanha tendo os seus produtos equipado carros vencedores das mais diversas competições automóveis.

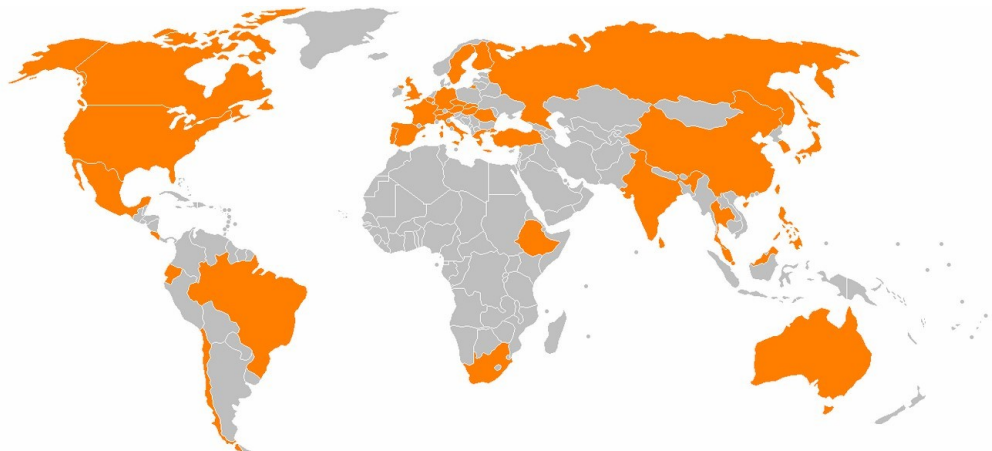


Figura 2.2 - A presença do grupo Continental é visível nos diversos continentes (34).

Em 2007 a Continental adquire a Siemens VDO Automotive AG e torna-se um dos cinco maiores fornecedores mundiais da indústria automóvel. É a principal fornecedora de componentes eletrónicos e pneus de várias marcas conceituadas como é o caso da Mercedes-Benz e da BMW (10).

O grupo Continental, além do fabrico do pneu, é especialista na produção de sistemas de travagem, controlos dinâmicos para viaturas, tecnologias de transmissão de potência, sistemas eletrónicos e sensores. Em adição à indústria automóvel, a Continental, está também presente na indústria mineira, do mobiliário e da impressão.

Esta empresa tem aproximadamente 150000 colaboradores em seis divisões: chassis e segurança, *powertrain*, interiores, pneus para viaturas de passageiros e comerciais ligeiras, pneus pesados e *ContiTech* (produtos técnicos em borracha e plástico). Estando divididos por mais de 200 locais diferentes espalhados por 36 países. (10)



Figura 2.3 - O “cavalo galopante” foi introduzido como imagem de marca da Continental em 1882, algo que se mantém até à atualidade (41).

## 2.2 A Continental-Mabor

A Continental-Mabor nasceu em Dezembro de 1989. O seu nome provém da união de duas empresas de renome na manufatura da borracha, a Mabor e a Continental.

A Mabor-Manufatura Nacional de Borracha, S.A, foi a primeira fábrica de pneumáticos de Portugal, tendo iniciado a sua laboração em 1946 com assistência técnica da General Tire Company, empresa norte-americana.

A ideia dos responsáveis da Mabor era importar a borracha das colónias africanas *“O nosso concelho que já, pelo grande consumo de algodão nas suas numerosas fábricas de têxteis, está tão ligada à economia colonial, verã fortalecidos*



*os laços que o prendem ao Ultramar pelo importante consumo da borracha da Guiné e de Angola”, (11) dizia um dos responsáveis pela fábrica na época.*



Figura 2.4 - Fábrica da Mabor, Lousado 1946 (11).

Com altos e baixos a Mabor esteve implantada por todo o território nacional, contribuindo para um enorme sucesso industrial. Porém, no final da década de 80 era uma fábrica envelhecida, com maquinaria antiga e só com um desenvolvimento moderno poderia sobreviver à concorrência cada vez mais acentuada.

Em todas as histórias de sucesso há sempre um momento que determina a queda ou a ascensão de uma empresa. Para a Mabor esse momento é a criação da AutoEuropa. Quando a AutoEuropa surge em Portugal o Estado obrigou à incorporação de componentes feitos no país. A Continental identifica uma oportunidade de negócio e faz uma *joint-venture* com a fábrica portuguesa (a Continental detinha 60% do capital e a Mabor 40%). Estava-se em 1990 e a Continental-Mabor torna-se uma realidade, a fábrica foi alvo de uma grande reestruturação, recebendo equipamentos novos, tornando-se na mais moderna das então 21 fábricas da Continental. Demorou apenas três anos para que a multinacional alemã se tornasse o único acionista da fábrica nortenha.

Partindo de uma produção média diária de 5000 pneus em 1990, foram atingidos os 21000 pneus/dia em 1996, ou seja, em quatro anos a produção quadruplicou. A fábrica está em constante expansão produzindo atualmente cerca de 55000 pneus/dia, apresentando-se assim, como uma das fábricas Continental com melhores índices de produtividade.

A Continental-Mabor tem cerca de 2000 trabalhadores e abastece 68 países, de um extremo (EUA) ao outro do globo (China) mas, a Europa é o seu maior mercado, com 54% das vendas.

## 2.3 Outras empresas da Continental em Portugal

Além da Continental-Mabor o grupo Continental AG detém outras empresas em Portugal.

### 2.3.1 ITA – Indústria Têxtil do Ave, S.A.

Trata-se de uma empresa cujo foco são artigos têxteis para a indústria da borracha. Encontra-se localizada em Lousado, Famalicão e foi fundada em 1950.

Esta empresa pertencia ao mesmo grupo que detinha a Mabor, passando a fazer parte do grupo Continental em 1993.



Figura 2.5 - Fotografia aérea da ITA (42).

### 2.3.2 Continental Lemmerz

A Continental Lemmerz foi inaugurada em Novembro de 1994 no Parque Industrial AutoEuropa em Palmela. Inicialmente foi uma associação entre a Continental-Mabor e a Lemmerz espanhola. Foi criada (em regime de *joint-venture*) com a finalidade de garantir à fábrica de montagem da Ford-Volkswagen, a entrega dos conjuntos pneu-jante. Em 2001, a Lemmerz decidiu vender a sua quota à Schedl Automotive. Atualmente 51% do capital da empresa é detido pela Continental e 49% pela Schedl Automotive.

### 2.3.3 Continental Pneus S.A. – CPP

Esta empresa encontra-se localizada em Lousado, Famalicão cuja fundação remonta a 1992. A sua atividade está relacionada com a comercialização, em Portugal, dos pneus produzidos pela Continental.

Constituiu-se através da aquisição da totalidade das ações da Scrimex (sociedade que detinha a exclusividade de comercialização dos pneus Continental em Portugal). A Continental Pneus integrou, então, colaboradores transferidos da Scrimex e também da Mabor passando a comercializar produtos das marcas Continental, Mabor, Uniroyal, General, entre outras.

### 2.3.4 Continental Teves Portugal – Sistemas de Travagem, Lda

A Continental Teves foi criada em 1998 e encontra-se localizada em Palmela. Esta unidade industrial produz e monta travões para os principais fabricantes de automóveis da Europa.



Figura 2.6 - Instalações da Continental Teves, Palmela (43).



# Capítulo 3

## O pneu

*Este capítulo foca-se exclusivamente no pneu. É apresentada a evolução do mesmo ao longo dos anos bem como o seu processo de fabrico atual.*



O pneu é um componente técnico complexo fundamental em diversos veículos tendo como principal função garantir uma ótima e segura aderência à estrada durante as diversas manobras, mesmo em condições adversas como chuva ou neve.

Um pneu de alta tecnologia deve ser equilibrado em todas as suas características. Concentrar o desenvolvimento apenas num único aspeto prejudica inevitavelmente outras propriedades (12). Por exemplo, um pneu com baixo atrito ao rodar vai, necessariamente, ter um desempenho menor noutra área. A travagem em piso molhado é um exemplo clássico onde um conflito de metas entra em jogo, Figura 3.1.

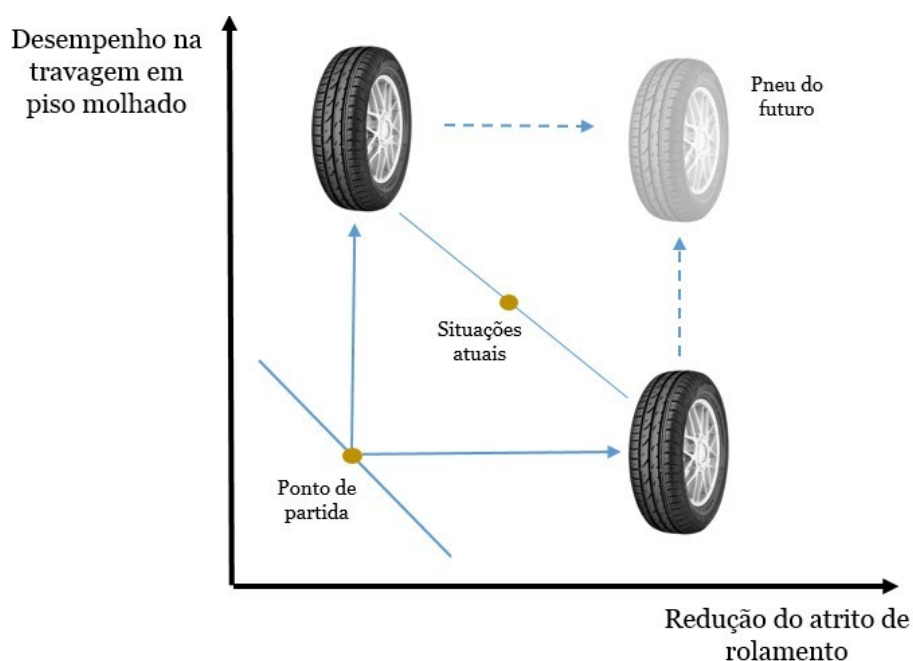


Figura 3.1 - A resistência ao rolamento e a travagem em piso molhado são das principais características a controlar num projeto de pneu, adaptado de (12).

A segurança é sempre a prioridade máxima de um fabricante de pneus pelo que todas as variáveis em jogo são cuidadosamente analisadas. A solução para os principais conflitos passa por um intensivo estudo permitindo obter cada vez melhores resultados em todas as características.

## 3.1 História

O pneumático foi inicialmente desenvolvido em 1888 por um veterinário e inventor escocês, John Boyd Dunlop (1840-1921), tendo sido inicialmente aplicado na bicicleta do seu filho (13).

Ao longo da História a Continental tem contribuído para o desenvolvimento desta indústria. Em 1898 começou a produzir pneus capazes de proporcionar uma viagem mais confortável (almofadados), permitindo aos automóveis viajar a velocidades mais elevadas. A partir de 1904, os pneus começaram a apresentar um desenho de piso (inicialmente tinham um piso liso, sem sulcos) e foi-lhes atribuída a típica cor preta. O negro de fumo tornou os pneus mais duros e resistentes.

Por volta de 1920 apareceu o pneu de corda vindo dos Estados Unidos da América. Este pneu tinha um corpo feito de corda de algodão que era mais resistente, menos sujeito a furos, permitindo uma maior durabilidade. Durante esta época surgiu também o pneu de baixa pressão ou “balão” (enchido abaixo de 3 bar(r) em vez de 5 bar(r)). Vinte anos mais tarde surge o “super balão” que tinha um maior volume de ar e proporcionava mais conforto (12).

Na década de 50 o pneu radial de aço estabeleceu novos padrões de quilometragem e performance de utilização. Por volta de 1970 foram inventados os pneus de baixo perfil e os pneus de perfil 70% foram seguidos, em poucos anos, pelos pneus de perfil 60% e 50% (ver Figura 3.2). Um rácio altura/largura de 65% é hoje o valor de referência para muitos veículos. Os pneus modernos estão a tornar-se cada vez mais largos (chegando a rácios de 25% - para carros de elevada cilindrada).

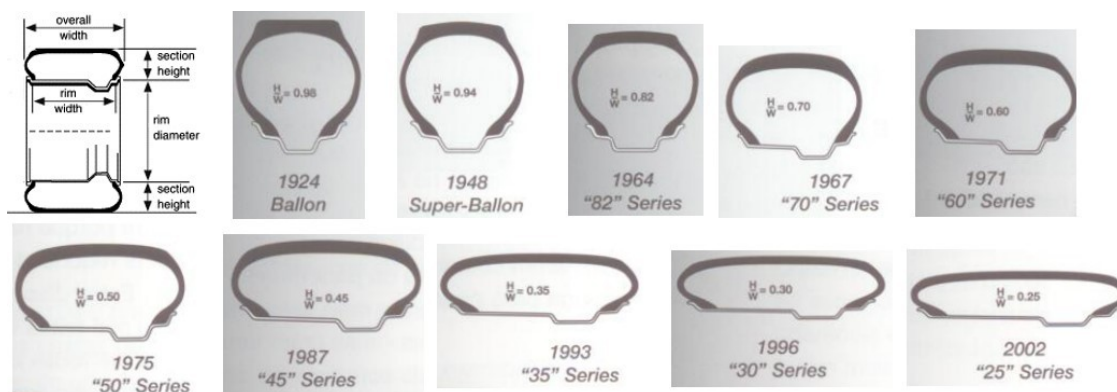


Figura 3.2 - Rácio altura/largura de um pneu, também chamado “series”, adaptado de (12).



Até à década de 70 do século XX os pneus eram de construção diagonal. O revestimento de um pneu de construção deste tipo é composto por várias lonas de corda revestidas de borracha com as extremidades dobradas à volta do arame do talão (o talão garante que o pneu assenta firmemente na jante). As telas de corda de um pneu de construção diagonal apresentavam-se em xadrez num determinado ângulo, sendo determinante para as características finais do pneu. Por exemplo, um ângulo de corda obtuso proporcionava mais conforto, porém a estabilidade lateral era menor. Um ângulo de corda agudo aumenta a estabilidade direcional à custa do conforto da viagem.

Atualmente os pneus diagonais foram substituídos pelos pneus de construção radial. As cordas do revestimento são, neste caso, perpendiculares ao sentido do rolamento. O ponto fraco desta estrutura é o facto de as cordas não poderem absorver as forças laterais quando o veículo curva, para compensar devem ser apoiadas ou complementadas por outros elementos estruturais.

O conjunto de cinta é constituído por várias camadas de telas de aço organizadas em sentidos opostos diagonalmente num determinado ângulo. A montagem da cinta proporciona o apoio e a estabilidade necessária para que as forças nos 3 planos principais possam ser transmitidas de forma eficiente. Alguns pneus são estabilizados com uma tela de nylon.

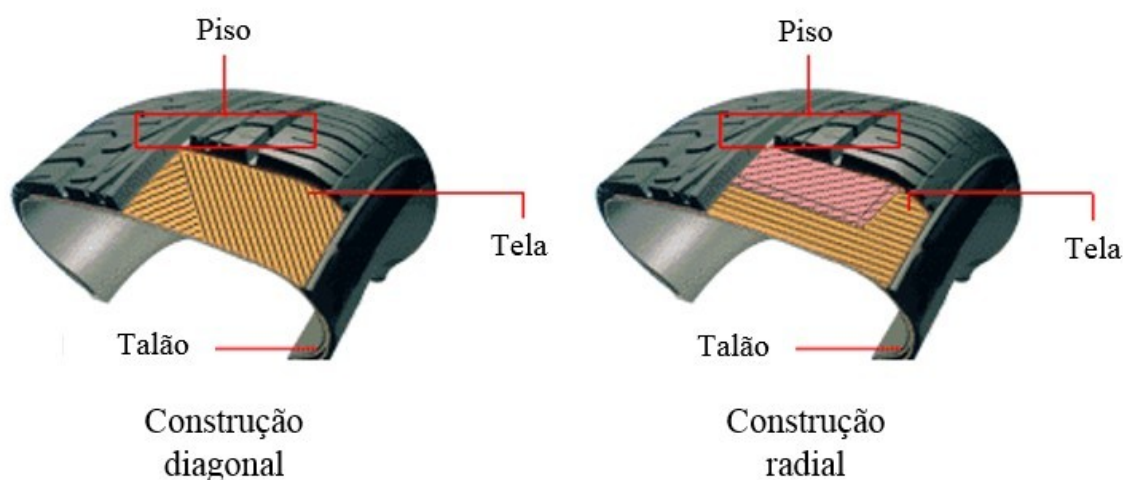


Figura 3.3 - Construção diagonal vs construção radial, adaptado de (12).

## 3.2 Constituição

O fabrico de um pneu radial moderno implica o recurso a várias matérias-primas em diferentes quantidades. Estes “ingredientes” e quantidades variam consoante o tamanho e tipo de pneu.

Na figura seguinte é apresentado como exemplo o pneu 205/55 R 16 91W ContiPremiumContact 2.

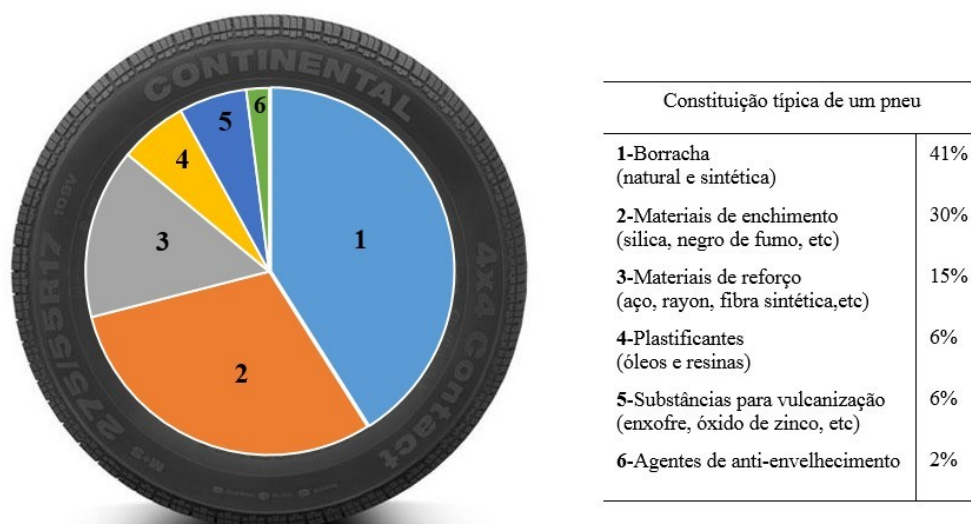


Figura 3.4 - Constituição do pneu 205/55 R 16 91W ContiPremiumContact 2, adaptado de (12).

O pneu acima apresentado pesa cerca de 8,5 kg (sem jante) e como se constata é constituído em cerca de 70% por borracha (natural e sintética) e materiais de enchimento como o negro de fumo, sílica, carbono e giz. Materiais de reforço como o aço, *rayon* e a fibra sintética são adicionados com o objetivo de melhorar a estabilidade e resistência do pneu. No ano de 2010 entraram em vigor na União Europeia diretivas que controlam o uso dos plastificantes (óleos e resinas) considerados prejudiciais para a saúde. Graças ao uso de óleos alternativos, os pneus Continental, permanecem bastante abaixo dos limites legais. Cerca de 2% do pneu é composto por substâncias anti-envelhecimento, permitindo um aumento do tempo de vida útil do mesmo.

A nível estrutural um pneu moderno é bastante complexo. Em seguida serão apresentados os seus principais componentes.

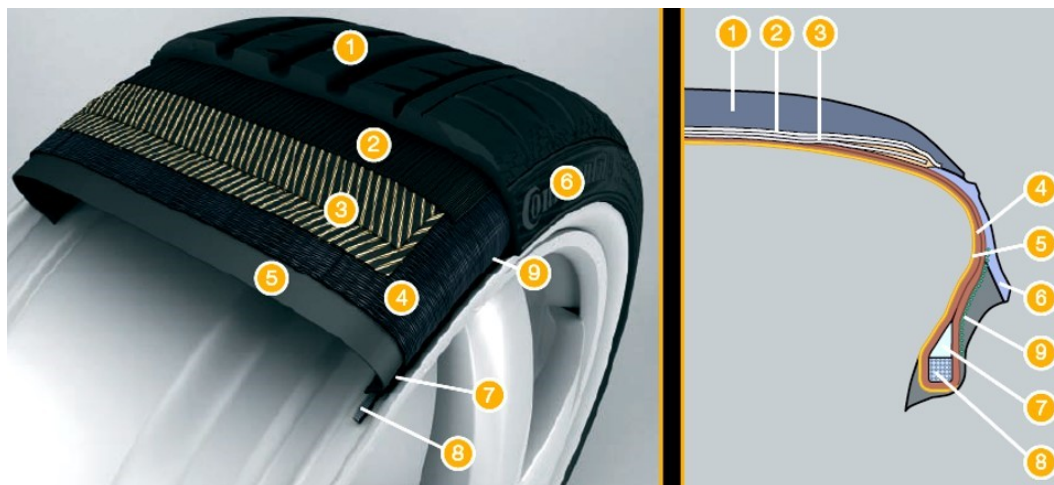


Figura 3.5 - Principais elementos estruturais do pneu, adaptado de (12).

O pneu é estão composto por (Figura 3.5):

1. Piso - Assegura uma boa aderência à estrada e permite a não retenção de água;
2. Telas sem união - Permitem uma boa estabilidade a altas velocidades;
3. Telas com cinta e cordas de aço - Otimizam a estabilidade direcional e o atrito ao rodar;
4. Tela de fibra têxtil - Controla a pressão interna conservando a forma do pneu;
5. Revestimento interior - Relacionado com a estanquidade do pneu;
6. Flanco - Protege o pneu dos danos externos;
7. Reforço do talão - Permite a estabilidade direcional e uma resposta de direção precisa;
8. Cunha do talão - Relaciona-se com a performance da direção e o nível de conforto;
9. Talão - Assegura o encaixe firme sobre a jante.

## 3.3 Processo de fabrico

Desde a matéria-prima até ao consumidor final o processo de fabrico de um pneu é constituído por diversas e importantes etapas. Na figura seguinte estão representados os principais passos do processo produtivo, sendo descritas com maior pormenor nas secções seguintes.

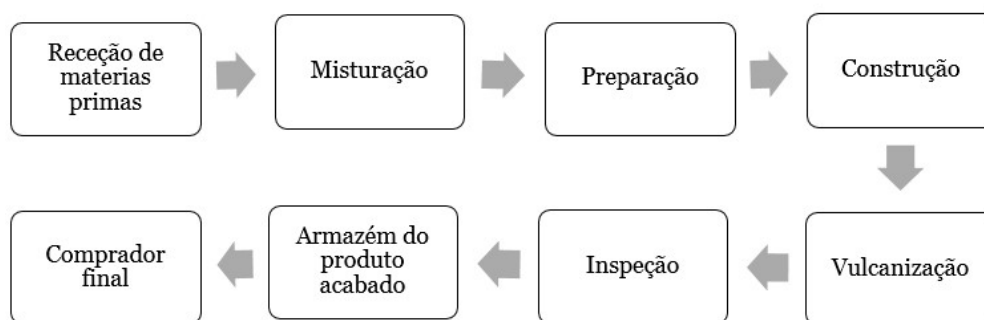


Figura 3.6 - Principais etapas do processo de fabrico de um pneu.

### 3.3.1 Receção de matérias-primas

A receção de matérias-primas é um dos elos de ligação da indústria de fabrico de pneus com outras indústrias nomeadamente:

- Indústria siderúrgica - Fornece aço de alta resistência que é usado para a produção de cintas de aço e de bases de talão;
- Indústria química - Fornece um grande número de matérias-primas. De destacar a borracha sintética e materiais usados, por exemplo, para reduzir o desgaste, aumentar a aderência e a vida útil do pneu;
- Extração de borracha natural - Esta é obtida a partir da casca de árvores especiais cultivadas em grandes plantações. O líquido lácteo (látex) coagula quando lhe é acrescentado ácido. Seguidamente é limpo com água e prensado em fardos sólidos para facilitar o transporte e armazenamento;
- Indústria têxtil - Fornece materiais como *rayon*, *nylon*, poliéster e fibras de aramida que servem de material de reforço aos pneus.

Quando rececionadas, as matérias-primas, são submetidas a um controlo de qualidade de modo a garantir os requisitos necessários. Finda esta etapa são armazenadas até ao seu uso.



Figura 3.7 - As matérias-primas são devidamente catalogadas e armazenadas (14).

### 3.3.2 Misturação

A primeira fase de todo o processo de fabrico de um pneu diz respeito à mistura. Os fardos de borracha natural e sintética são cortados em segmentos, pesados e misturados com outros compostos (óleos, sílica, negro de fumo, etc) conforme receitas especialmente definidas para cada tipo de pneu. Estes materiais são colocados nos misturadores onde são transformados em mesas de borracha. Atualmente são usadas até doze combinações de borracha diferentes nos vários componentes de pneus de veículos de passageiros (14).

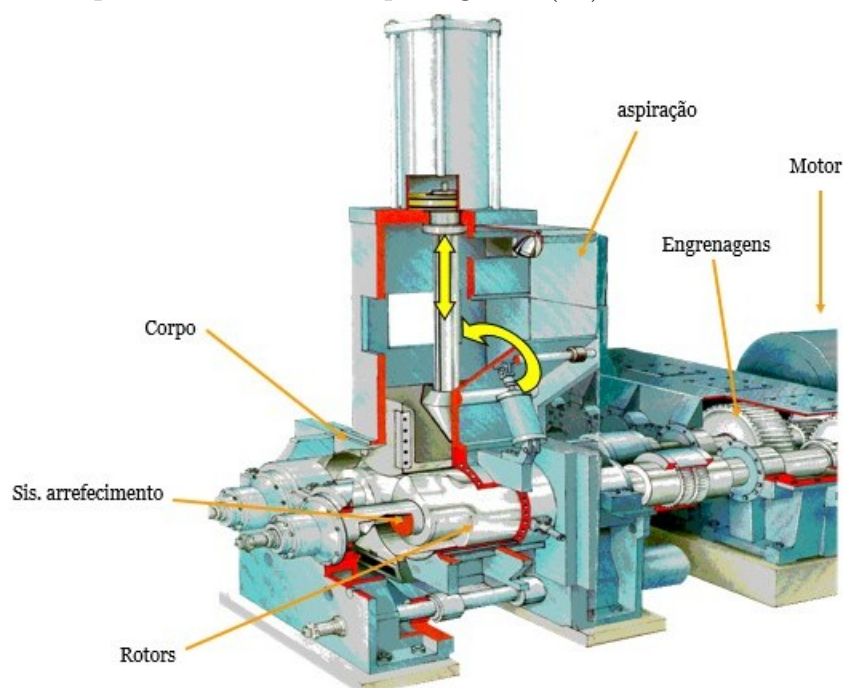


Figura 3.8 - Principais elementos constituintes de um misturador, adaptado de (14).

### 3.3.3 Preparação

Após a misturação a etapa que se segue é a preparação. Nesta fase as mesas de borracha vindas da misturação e outros materiais como arame, tecido têxtil, etc são usados para a produção de componentes necessários à montagem do pneu. Dependendo do componente a produzir, estes materiais, são processados em extrusoras, calandras e máquinas de corte. Os principais componentes produzidos nesta etapa são:

- Tela metálica - A corda de aço pré-tratado é fornecida em bobinas e colocada dentro de uma calandra. No interior desta é embutida numa ou mais camadas de borracha. Esta folha contínua de corda e borracha é cortada num determinado ângulo com o comprimento exato para o tamanho do pneu;
- Piso - O material, previamente junto numa misturadora, é moldado numa extrusora tipo parafuso. Depois da extração é verificado o peso e o material é arrefecido por imersão. A tira do piso é posteriormente cortada consoante o tamanho do pneu sendo realizado um controlo de peso unitário;
- Tela têxtil - Na calandra, são colocados um grande número de fios têxteis sendo posteriormente embutidos numa fina camada de borracha. Esta folha de borracha é então cortada conforme a largura desejada num ângulo de 90°;
- Talão - A base do talão é composta por vários arames de aço circulares, cada qual com o seu próprio revestimento de borracha;
- Parede lateral/revestimento interior - As secções do flanco são cortadas para se adaptarem a um determinado tamanho de pneu.

Estes componentes são posteriormente armazenados em diferentes tipos de carros sendo encaminhados para a zona de construção.





Figura 3.9 - Exemplo de uma calandra (14).

### 3.3.4 Construção

Nesta etapa é executada a montagem dos componentes provenientes da preparação. A zona da construção é composta por diversos módulos, sendo cada módulo constituído por duas máquinas distintas, as KM e as PU.

Na KM é construída a carcaça do pneu e na PU ocorre a junção desta com as telas metálicas, piso e telas têxteis.

No final deste processo resultam os pneus em verde (também designados de pneus em cru) sendo encaminhados para a zona da vulcanização.



Figura 3.10 - Etapas da construção, adaptado de (14).

### 3.3.5 Vulcanização

Antes da vulcanização os pneus em verde são pulverizados com um líquido com o objetivo de melhorar o acabamento, prolongando o tempo de vida dos mesmos. A vulcanização é um processo em que ocorre uma reação química que permite a transformação da borracha do estado plástico para um estado elástico, permitindo obter as propriedades mecânicas desejáveis para um pneu.

As principais variáveis a controlar nesta fase são:

- Temperatura de cura - Influencia diretamente as propriedades mecânicas do produto final;
- Tempo de cura - Varia consoante o tipo de borracha e o tamanho do pneu;
- Pressão interna - Além de ser um fator importante no processo da moldação evita que certos produtos químicos passem ao estado gasoso.

Tipicamente o tempo de cura é cerca de 9-13 minutos, dependendo do tamanho do pneu. A temperatura no interior do molde ronda os 165-180 °C e no interior do diafragma os 210-212 °C. Relativamente à pressão, no interior do diafragma, esta é cerca de 19 bar(r). Na Figura 3.11 mostra-se umas das prensas usadas no processo de vulcanização, bem como o pormenor do diafragma.

Findo o processo de vulcanização os pneus são enviados para a zona da inspeção final.

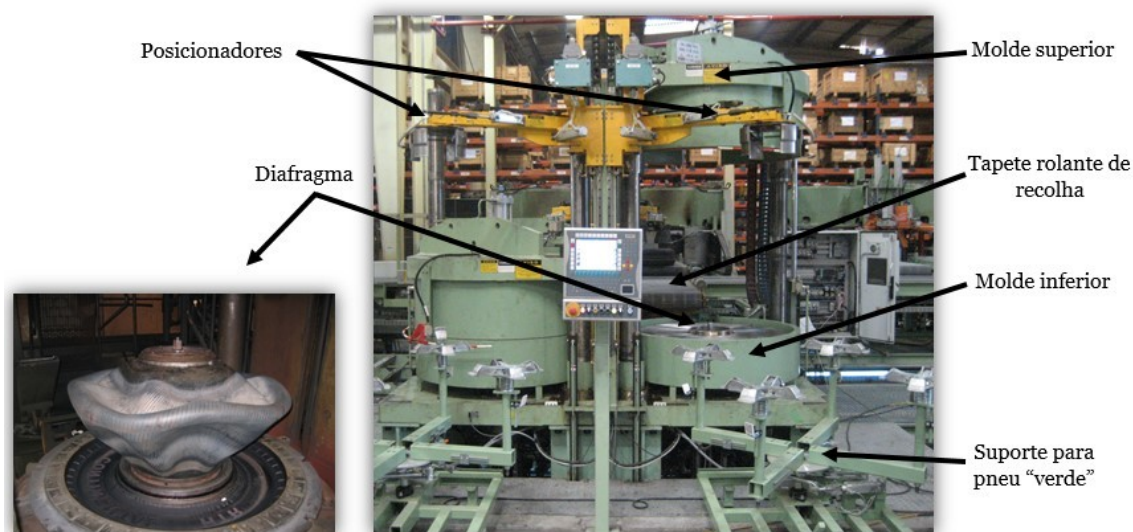


Figura 3.11 - Principais componentes de uma prensa de vulcanização, adaptado de (14).



### 3.3.6 Inspeção final

Os pneus vulcanizados são submetidos a processos de inspeção. Inicialmente é feita uma inspeção visual e posteriormente inspeções automáticas. Nesta fase os pneus são submetidos a testes de geometria e de uniformidade. Nos testes de geometria são controlados alguns parâmetros como o peso, diâmetros, excentricidade, etc. Nas máquinas de uniformidade é analisada a resposta do pneu a diversas solicitações, tais como forças radiais e laterais.

Caso o pneu passe em todos os testes da inspeção final é encaminhado para o armazém do produto acabado.



Figura 3.12 - Inspeção visual de um pneu (14).

### 3.3.7 Armazém do produto acabado

Chegados ao armazém do produto acabado os pneus são organizados e armazenados em paletes onde lá permanecem até que seja necessário enviá-los para os respectivos clientes. Tal como toda a fábrica, esta zona está bastante automatizada permitindo a economia de muito tempo.



Figura 3.13 - Armazém do produto acabado (12).



# Capítulo 4

## As Utilidades na

## Continental-Mabor

*Neste capítulo são apresentadas as diversas utilidades presentes na fábrica (vapor, ar comprimido, sistemas de arrefecimento e vácuo). É também feita uma referência aos processos de tratamento de água.*



## 4.1 Produção de vapor de água

Na Continental-Mabor o vapor de água é produzido com recurso a duas caldeiras: uma convencional e uma recuperativa inserida num sistema de cogeração. O vapor à saída das caldeiras tem uma pressão relativa de 19 bar (2000 kPa abs) e um título de aproximadamente 95%. A exploração destes equipamentos é realizada por uma empresa externa, comprando a Continental o vapor a essa empresa.

### 4.1.1 Caldeira recuperativa (cogeração)

A caldeira recuperativa aproveita os gases de escape da turbina a gás (ciclo de Joule-Brayton) para a produção de vapor de água permitindo um sistema integrado de produção de eletricidade e calor (cogeração). A turbina, que utiliza como combustível o gás-natural, tem uma potência nominal de 5 MW. Esta caldeira tem uma capacidade nominal de 20 toneladas de vapor por hora e em condições normais é a que garante a maior parte do consumo (mandante). Esta caldeira possui um rendimento de aproximadamente 70% quando funciona em modo de cogeração pura (queimadores desligados, fonte térmica é exclusivamente os gases escape da turbina), chegando aos 82% quando os seus queimadores estão em funcionamento.

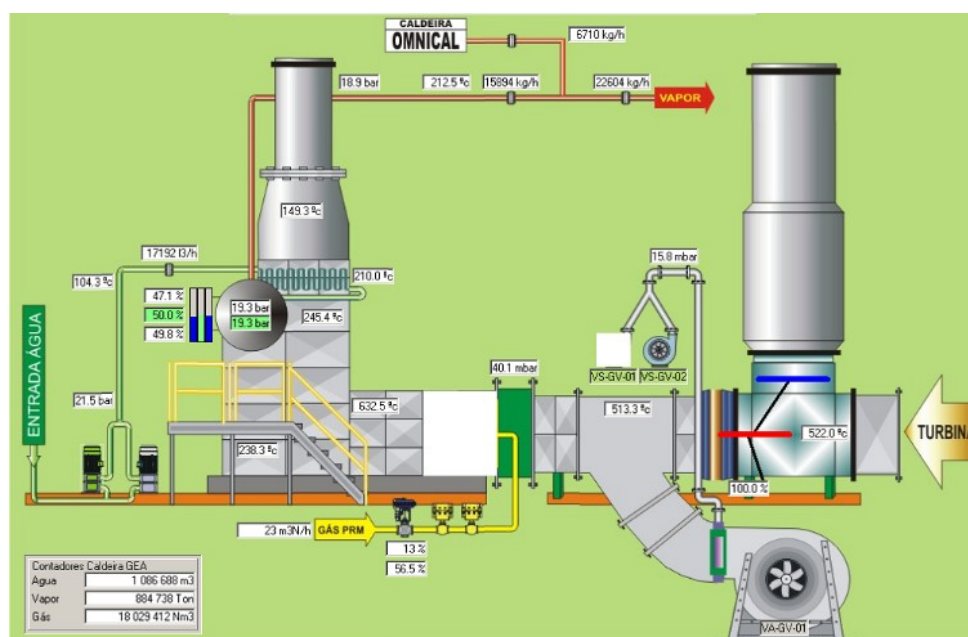


Figura 4.1 - Esquema presente na monitorização da caldeira recuperativa.

### 4.1.2 Caldeira convencional

A caldeira convencional tem uma capacidade nominal de 25 toneladas de vapor por hora e um rendimento acima de 90%. Tal como a recuperativa, o combustível utilizado é o gás natural. Esta caldeira só é utilizada como caldeira principal (mandante) quando a turbina do sistema de cogeração estiver desligada. Este facto deve-se à diferença significativa dos rendimentos das duas caldeiras (quando a turbina está desligada opta-se, naturalmente, pela caldeira com melhor rendimento).

## 4.2 Produção de ar comprimido

Relativamente à produção de ar comprimido esta ocorre a duas pressões distintas. O chamado ar de alta tem uma pressão relativa de 10 bar e o de baixa de 6 bar. A nível de consumos mássicos cerca de 16% corresponde ao ar a 10 bar(r). No ano de 2014 os compressores consumiram cerca de 16,2 GWh (15), o que corresponde a mais de 11% do consumo elétrico total da fábrica. A nível industrial são considerados das máquinas menos eficientes pelo que existem várias medidas passíveis de serem aplicadas que permitem melhorar este aspeto (assunto tratado num dos próximos capítulos). A empresa possui compressores volumétricos (isentos e não-isentos de óleo) e turbocompressores (dinâmicos) radiais.



Figura 4.2 - Exemplo de um dos compressores de alta pressão (44).

## 4.3 Produção de vácuo

No caso da Continental-Mabor o sistema de vácuo é usado na área da vulcanização permitindo a rápida evacuação do vapor presente no diafragma da prensa após cada ciclo de produção. No final do tempo de cura do ciclo de vulcanização é feita uma drenagem do condensado. Após esta primeira descarga entra em funcionamento o sistema de vácuo aspirando o vapor húmido ainda presente no diafragma possibilitando a correta saída do pneu. Este vapor condensa e é enviado por uma tubagem até um reservatório. O reservatório permite a separação ar-condensado, sendo o condensado enviado para a estação de tratamento de água.

Na figura Figura 4.3 é apresentado um esquema da central de produção de vácuo. Nele é visível o canal principal, a recolha de purgas recorrendo ao trabalho das bombas de condensado e o grupo de bombas de vácuo. Sempre que necessário o reservatório é arrefecido através da adição de água fria. No coletor de descarga existe condensado devido à necessidade das bombas de vácuo funcionarem com selante (16).

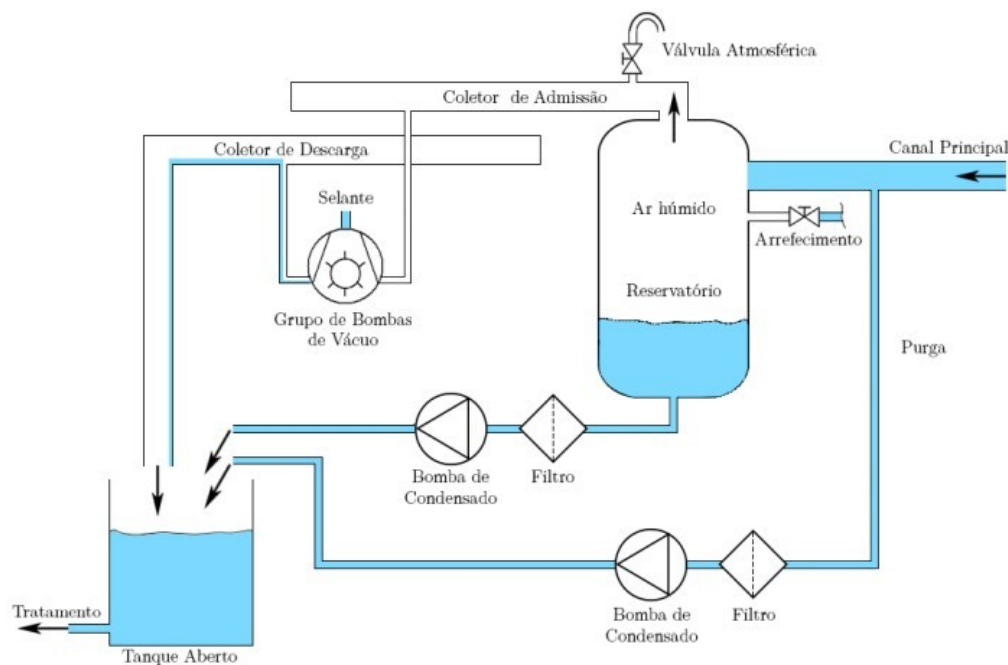


Figura 4.3 - Esquema da central de vácuo (16).

## 4.4 Sistemas de arrefecimento

A fábrica está equipada com diversas torres de arrefecimento tanto a nível do processo como a nível da climatização. Diversas máquinas necessitam de um controlo mais sensível da temperatura pelo que nesse caso são usado *chillers*. Estes equipamentos vão merecer especial atenção num dos próximos capítulos.

## 4.5 Tratamento de águas

A empresa possui duas estações de tratamento de água. Uma responsável pela água proveniente das captações (rio e furos) – ETA, Estação de Tratamento de Águas e outra que efetua o tratamento de água proveniente da fábrica – ETARI, Estação de Tratamento de Águas Residuais e Industriais.

### 4.5.1 ETA – Estação de tratamento de águas

Na Figura 4.4 é apresentado o esquema de funcionamento desta estação.

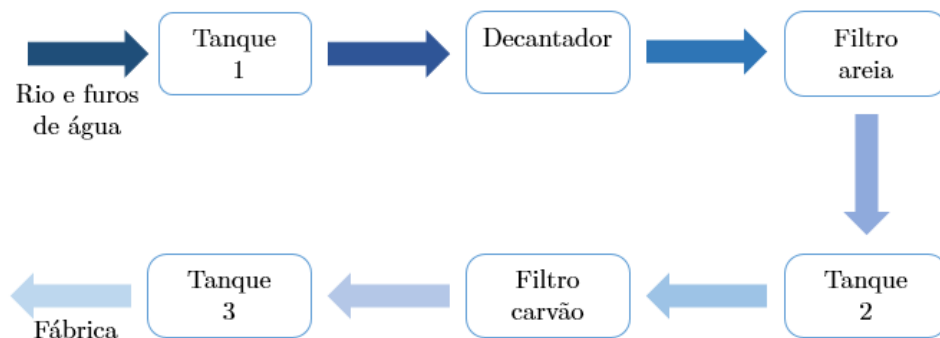


Figura 4.4 - Principais constituintes da ETA.

A água proveniente do rio Ave e de outras fontes de captação chega à fábrica e fica depositada no tanque 1. Daqui é bombeada para o decantador. A decantação é um processo físico que permite separar misturas heterogéneas (neste caso líquido-sólido). Devido à diferença de densidades, as partículas sólidas ficam depositadas no fundo sendo posteriormente recolhidas. Finda a decantação, a água é encaminhada para um filtro de areia. Estes filtros sofrem regularmente um processo de lavagem pelo que é essencial a existência de pelo menos duas unidades. Após a filtração em areia a água é conduzida para um tanque intermédio (tanque 2) seguindo posteriormente para um filtro de carvão. O carvão ativado é um material



carbónico com uma porosidade bastante desenvolvida permitindo uma eficaz filtragem das impurezas. Este tipo de equipamentos apresenta um excelente poder de clarificação, desodorização e purificação. Daqui a água é enviada para o tanque 3 de onde parte para os diferentes consumidores na fábrica. Consoante a utilização final esta água sofre ainda alguns tratamentos.

## 4.5.2 ETARI – Estação de tratamento de águas residuais e industriais

A água, vinda da fábrica, chega à ETARI e fica depositada num tanque. Em seguida é encaminhada para um reator de coagulação onde além de coagulante são adicionados outros produtos (ex: soda). O objetivo deste reator é aglomerar as impurezas que se encontram em suspensão na água. É provocada uma instabilidade na mistura onde, por adição de produtos químicos, se neutralizam as forças elétricas superficiais e se anulam as forças repulsivas. Depois segue-se o reator de floculação, ocorrendo o processo de aglutinação das partículas formadas pelo composto coagulante, promovendo o crescimento dos flocos. Com o recurso a um motor elétrico a mistura é agitada de modo a promover o contacto entre os flocos, porém a velocidade de rotação não deve ser demasiado elevada para não os destruir.

Em seguida a água vai para um decantador, ficando depositadas no fundo as partículas mais densas. Posteriormente sofre um processo de filtragem chegando ao tanque de água tratada.

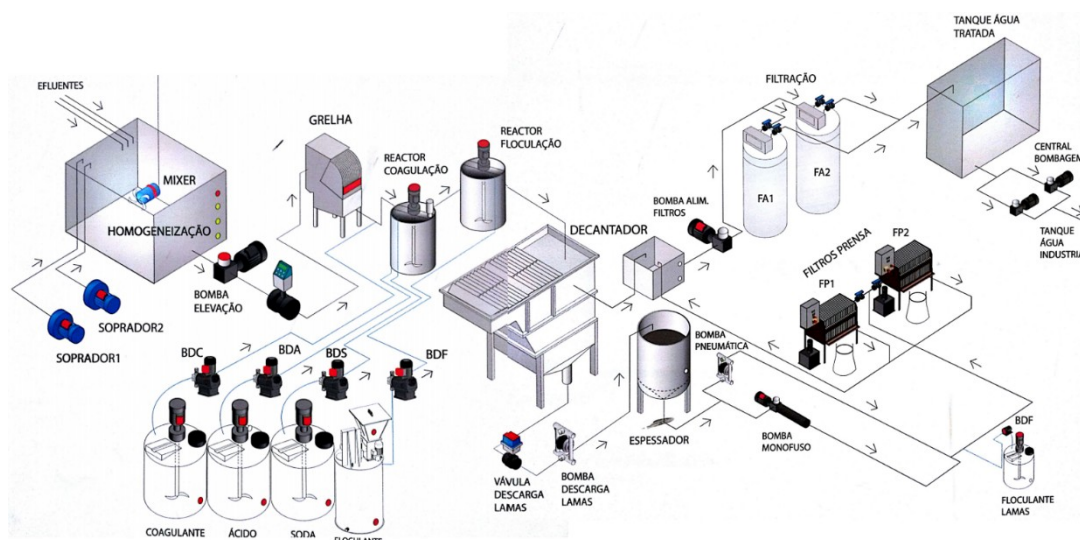


Figura 4.5 - Esquema de funcionamento da ETARI.



# Capítulo 5

## Fontes térmicas e sua quantificação

*Neste capítulo são descritas e quantificadas as diferentes correntes identificadas como tendo potencial energético passível de ser aproveitado.*



## 5.1 A corrente de *blowdown*

O tanque de *blowdown* é um depósito com respiro para a atmosfera, que contém os condensados que não podem ser recirculados e as purgas das caldeiras. Os condensados que não podem ser recirculados dizem respeito àqueles que, na altura da vulcanização, estão em contacto direto com materiais não metálicos, apresentando um grau de sujidade tal que não se aconselha o seu retorno. Condensados que durante todo o processo se mantêm com um grau de pureza aceitável são recuperados, entrando novamente na caldeira. São exemplos deste tipo de correntes os condensados do AVAC e os que são usados para pré-aquecimento de moldes (metálicos). Este tanque está em constante descarga para o esgoto.

### 5.1.1 Recolha de dados

Nos dias 25 e 26 de Julho de 2013 foram realizadas medições de temperatura e caudal à corrente de *blowdown*. Os resultados destas medições encontram-se representados na tabela seguinte.

Tabela 5.1 – Resumo das medições efetuadas à corrente de descarga do tanque de *blowdown* em Julho de 2013

Medições realizadas entre 25/07/2013 (5 pm) - 26/07/2013 (5 pm)	
Temperatura média [°C]	77
Temperatura mínima [°C]	75
Temperatura máxima [°C]	79
Caudal médio [kg/s]	1,60
Caudal mínimo [kg/s]	1,33
Caudal máximo [kg/s]	1,67

### 5.1.2 Estimativa do caudal a circular

As únicas medições de caudal de *blowdown* realizadas datam de 25 e 26 de Julho de 2013 pelo que foi necessário pensar num método que permitisse estimar o caudal de fluido a circular atualmente. Para tal foi considerado que o quociente entre o caudal de *blowdown* e o caudal de vapor que vai para o processo se mantém aproximadamente constante ao longo do tempo. Tendo esta relação e o caudal de

vapor para o processo atual estimou-se assim o de *blowdown*. Não se considerou nesta análise o caudal total de vapor produzido pelo fato do AVAC consumir vapor sazonalmente e esta quantidade de fluido nunca ser direcionada para o *blowdown*, mas sim recirculada.

Partindo dos registos dos contadores de vapor para o dia das medições, Tabela 5.2, e do caudal de *blowdown* medido obteve-se a relação pretendida.

Tabela 5.2 - Registo do contador de vapor para o dia em que foram realizadas as medições de caudal de *blowdown*.

Dia	Caudal de vapor para processo (t/dia)
25/07/2013	432
26/07/2013	440
<u>Média:</u> 436 t/dia $\approx$ 5,05 kg/s	

$$\frac{\dot{m}_{blowdown}}{\dot{m}_{vap, processo}} = \frac{1,60}{5,05} \approx 31\% \quad (5.1)$$

Constata-se então que para os dias das medições a relação entre o caudal médio de descarga do *blowdown* e o caudal médio de vapor para o processo é aproximadamente 31%. Como já foi referido anteriormente considerar-se-á que esta relação se mantém constante ao longo do tempo. Posto isto, conhecendo o caudal de vapor que é fornecido ao processo é possível estimar o caudal de *blowdown* respetivo.

Tabela 5.3 - Médias mensais do caudal total de vapor produzido relativo ao ano de 2014.

Mês	Total [t/h]	AVAC [t/h]	Processo [t/h]	Total [kg/s]	AVAC [kg/s]	Processo [kg/s]
Janeiro	21,69	3,61	18,07	6,02	1,00	5,02
Fevereiro	23,29	4,03	19,26	6,47	1,12	5,35
Março	20,12	2,43	19,40	5,59	0,67	5,39
Abril	18,81	0,00	18,81	5,23	0,00	5,23
Maio	19,12	0,00	19,12	5,31	0,00	5,31
Junho	19,11	0,00	19,11	5,31	0,00	5,31
Julho	18,09	0,00	18,09	5,03	0,00	5,03
Agosto	18,02	0,00	18,02	5,01	0,00	5,01
Setembro	17,20	0,00	17,20	4,78	0,00	4,78
Outubro	15,53	0,00	15,53	4,31	0,00	4,31
Novembro	18,44	2,92	15,92	5,12	0,81	4,42
Dezembro	20,34	4,81	15,53	5,65	1,34	4,31

Na Tabela 5.3 apresentam-se as médias mensais do caudal de vapor produzido (total, AVAC e processo) durante o ano de 2014.

De referir que antes do processamento da informação foi aplicado o critério de Chauvenet (17) aos dados recolhidos de modo a permitir a eliminação de valores disparatados (por vezes os contadores avariavam, deixavam de contar o que introduzia erros na recolha de dados).

Os valores médios mensais para o ano de 2014 encontram-se resumidos na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Valor médio, máximo e mínimo de vapor para o processo no ano de 2014.

Ano 2014	Processo [t/h]	Processo [kg/s]
Média	18,58	5,16
Máximo	19,40	5,39
Mínimo	15,53	4,31

Aplicando a razão de 31%, os caudais estimados para a corrente de *blowdown* durante o ano de 2014 são:

Tabela 5.5 - Valor médio, máximo e mínimo estimado para o caudal de *blowdown* durante o ano de 2014.

Ano 2014	<i>Blowdown</i> [t/h]	<i>Blowdown</i> [kg/s]
Média	5,76	1,60
Máximo	6,01	1,67
Mínimo	4,81	1,33

Os valores presentes na Tabela 5.5 vão ser posteriormente usados para estudos termodinâmicos.

O fato de não existirem contadores da corrente de *blowdown*, a não contagem dos condensados que são recirculados e do vapor que escapa diretamente para a atmosfera (através de respiros nas linhas) faz com que o método usado seja a única alternativa de estimar o caudal de fluido a circular.

## 5.2 A corrente de condensados

Trata-se da corrente de condensados limpos que podem ser recirculados, ou seja, retornam à caldeira. Corresponde essencialmente ao condensado relativo ao vapor destinado aos sistemas de climatização e às máquinas onde este contacta essencialmente com materiais metálicos, mantendo um grau de pureza aceitável.

Como já foi referido, a gestão dos sistemas de produção de vapor é assegurada por uma empresa externa. Por motivos contratuais, a Continental tem de garantir que a temperatura dos condensados recirculados à entrada do desgasificador seja, no mínimo, 105°C. A temperatura média do tanque de recolha de condensados ronda os 116°C, ou seja, existe um potencial térmico que pode ser aproveitado (cerca de 10°C). Esta hipótese é também vantajosa para a empresa que gere a produção de vapor na medida em que é assegurado um melhor funcionamento das bombas de circulação, evitando problemas de cavitação.

### 5.2.1 Recolha de dados

Segundo a empresa que gere os equipamentos de produção de vapor a temperatura e pressão média do tanque de recolha de condensados são os seguintes:

Tabela 5.6 - Valor médio da temperatura e pressão no tanque de condensados.

Tanque condensados	
Temperatura [°C]	116
Pressão [kPa (abs)]	175

### 5.2.2 Estimativa do caudal a circular

Tal como no caso da corrente de *blowdown* também não existe na de condensados um contador permanente, pelo que o caudal a circular e a sua variação foram estimados.

A percentagem do vapor produzido que é recirculado varia ao longo do ano devido à utilização sazonal dos equipamentos de aquecimento ambiente (AVAC). O vapor que é destinado ao AVAC é recirculado na totalidade pelo que quando estes equipamentos estão ligados a percentagem de vapor produzido nas caldeiras que é recuperado é superior.



Segundo a empresa que gere estes equipamentos as percentagens do vapor produzido que é recirculado são as que em seguida se apresentam (valores médios):

Tabela 5.7 - Percentagem de vapor recirculado em função do uso dos sistemas de aquecimento.

Vapor recirculado [%]	
Com aquecimento ligado	60
Sem aquecimento ligado	50

Aplicando estas percentagens à produção média mensal de vapor durante o ano de 2014 obtém-se uma estimativa do caudal recirculado para o respetivo ano, Tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Estimativa do caudal médio de vapor recirculado para o ano de 2014.

Mês (2014)	Vapor recirculado [kg/s]
Janeiro	3,61
Fevereiro	3,90
Março	3,36
Abril	2,62
Maio	2,66
Junho	2,66
Julho	2,52
Agosto	2,51
Setembro	2,40
Outubro	2,16
Novembro	3,10
Dezembro	3,34

Tabela 5.9 - Valor médio, máximo e mínimo das estimativas para o caudal de vapor recirculado relativo ao ano de 2014.

Ano 2014	Vapor recirculado [kg/s]
Média	3,00
Máximo	3,90
Mínimo	2,16

Os valores presentes na tabela anterior vão ser posteriormente usados em análises termodinâmicas.

## 5.3 Os gases de escape da cogeração

Outra corrente com elevado potencial energético são os gases de escape do sistema de cogeração. Não entram nesta análise os gases de escape da caldeira convencional visto esta não ser normalmente utilizada como caldeira “mandante”.

### 5.3.1 Recolha de dados

Os dados passíveis de serem recolhidos relativos a esta fonte quente são (valores médios):

- Combustível - Gás natural (considerado na análise como CH<sub>4</sub>);
- Consumo de combustível na turbina -  $\dot{V}_{CH_4,turb} = 1600 \text{ m}^3/\text{h}$  (0°C, 1atm);
- Consumo de combustível na recuperativa -  $\dot{V}_{CH_4,recup} = 375 \text{ m}^3/\text{h}$  (0°C, 1atm);
- Caudal dos gases escape – 65396 kg/h  $\approx$  18,2 kg/s;
- Temperatura dos gases - 150°C

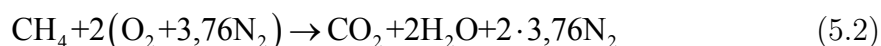
Ao contrário dos outros parâmetros o caudal dos gases de escape não é constantemente monitorizado. O valor apresentado foi o resultado de medições realizadas em Dezembro de 2014 (solicitadas pela empresa que gere a produção de vapor).

Este sistema de cogeração é alimentado com gás natural em duas zonas distintas, na turbina e na caldeira recuperativa (a combustão na turbina é com excesso de ar o que possibilita a reação na caldeira recuperativa sem adição de ar fresco).

Além da temperatura e caudal dos gases de escape é importante estimar a sua constituição (frações mássicas). Para tal será realizada uma análise às duas combustões existentes no sistema.

### 5.3.2 Análise à combustão

O primeiro passo passa por apresentar a reação estequiométrica de combustão na turbina:



A relação ar-combustível estequiométrica vem então:

$$(AC)_{est,turb} = \frac{2(2 \cdot 16 + 2 \cdot 3,76 \cdot 14,075)}{12 + 4} \approx 17,23 \quad (5.3)$$

Em seguida é apresentado o balanço mássico realizado ao sistema de modo a obter a quantidade de ar fresco admitido na turbina.

$$\dot{m}_{ar,turb} = \dot{m}_{gases,escape} - \dot{m}_{CH4,turb} + \dot{m}_{CH4,recup} \quad (5.4)$$

É conhecido o caudal volúmico de combustível pelo que o caudal mássico correspondente é facilmente determinado. A massa volúmica do metano a 0 °C e 101,325 kPa vale  $\rho_{CH4} = 0,72 \text{ kg/m}^3$  (valor obtido do software EES).

$$\dot{m}_{CH4,turb} = 0,72 \cdot 1600 \approx 1152 \text{ kg/h} \approx 0,32 \text{ kg/s} \quad (5.5)$$

$$\dot{m}_{CH4,recup} = 0,72 \cdot 375 \approx 270 \text{ kg/h} \approx 0,075 \text{ kg/s} \quad (5.6)$$

O caudal de ar admitido na turbina é então:

$$\dot{m}_{ar,turb} = 65396 - 1152 - 270 = 63974 \text{ kg/h} \approx 17,77 \text{ kg/s} \quad (5.7)$$

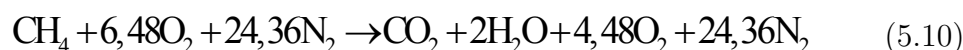
A razão ar-combustível real na turbina tem o valor de:

$$(AC)_{real,turb} = \frac{63974}{1152} \approx 55,53 \quad (5.8)$$

Correspondendo a um excesso de ar de:

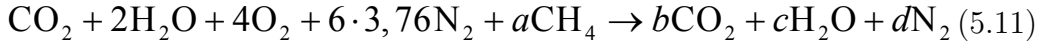
$$e_{ar} = \frac{1 - \frac{17,23}{55,53}}{\frac{17,23}{55,53}} \approx 2,225 (222,5\%) \quad (5.9)$$

A reação química real da combustão que ocorre na turbina, considerando um excesso de 222,5%, é apresentada em seguida.

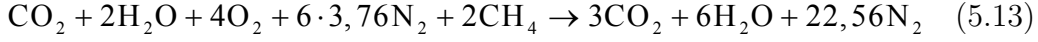


Para caracterizar os gases de escape do sistema de cogeração é necessário analisar a combustão que ocorre na caldeira recuperativa.

Os reagentes desta combustão são os produtos de reação da combustão na turbina juntamente com o gás natural adicionado à caldeira recuperativa. A reação estequiométrica desta combustão pode ser obtida através da resolução do sistema que em seguida se apresenta (balanço mássico das espécies químicas em jogo).



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{O} : 2 + 2 + 8 = 2b + c \\ \text{C} : 1 + a = b \\ \text{H} : 4 + 4 = 2c \\ \text{N} : 6 \cdot 3,76 \cdot 2 = 2d \end{array} \right\} \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} a = 2 \\ b = 3 \\ c = 6 \\ d = 22,56 \end{array} \right. \quad (5.12)$$



A relação ar-combustível estequiométrica desta nova combustão é obtida através da equação apresentada em seguida.

$$(AC)_{est,recup} = \frac{12 + 32 + 36 + 128 + 635,06}{2(12 + 4)} \approx 26,35 \quad (5.14)$$

A relação ar-combustível real da combustão na caldeira recuperativa pode ser obtida através do quociente entre o caudal dos produtos de reação da turbina e o caudal de gás natural adicionado à caldeira recuperativa.

$$(AC)_{real,recup} = \frac{\dot{m}_{ar,turb} + \dot{m}_{CH_4,turb}}{\dot{m}_{CH_4,recup}} \quad (5.15)$$

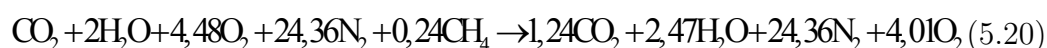
$$(AC)_{real,recup} = \frac{63974 + 1152}{270} \approx 241,21 \quad (5.16)$$

A reação química real relativa à combustão na caldeira recuperativa é obtida através da resolução do sistema de equações abaixo apresentado.



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{O} : 2 + 2 + 2 \cdot 4,48 = 2b + c + 2e \\ \text{C} : 1 + a = b \\ \text{H} : 4 + 4 = 2c \\ \text{N} : 24,36 \cdot 2 = 2d \\ (AC)_{real,recup} : \frac{(12 + 32) + 2(2 + 16) + 4,48 \cdot 32 + 24,36(2 \cdot 14,075)}{a(12 + 4)} = 241,21 \end{array} \right. \quad (5.18)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} a = 0,24 \\ b = 1,24 \\ c = 2,47 \\ d = 24,36 \\ e = 4,01 \end{array} \right. \quad (5.19)$$



As frações mássicas dos gases de combustão apresentam-se na tabela seguinte.

Tabela 5.10 - Frações mássicas dos gases de escape (corrigidas).

	M [g/mol]	Yi[-]
CO <sub>2</sub>	1,24(12+2x16)=54,56	54,56/913,07=0,060
H <sub>2</sub> O	2,47(2+16)=44,46	44,46/913,07=0,049
N <sub>2</sub>	24,36x28,15=685,73	685,73/913,07=0,750
O <sub>2</sub>	4,01x32=128,32	128,32/913,07=0,141
	Σ=913,07	

A definição das frações mássicas é importante para a caracterização das propriedades físicas da corrente dos gases de escape, nomeadamente do seu calor específico.

Na tabela seguinte estão enumeradas as diferentes fontes térmicas identificadas.

Tabela 5.11 - Resumo das fontes térmicas identificadas.

Fontes térmicas	Fluido	Temperatura média [°C]	Caudal médio [kg/s]
Água <i>blowdown</i>	Água (com impurezas)	77°C	1,60
Corrente condensados	Água (com impurezas)	116°C	3,00
Gases cogeração	Gases de exaustão	150°C	18,20

Estes dados serão utilizados para os vários estudos termodinâmicos que se apresentam mais adiante.

## 5.4 Fonte fria

Todos os ciclos termodinâmicos necessitam de uma fonte fria. Normalmente são utilizadas como fontes frias o ar ambiente ou a água.

A maior parte das empresas que fabricam equipamentos baseados no ciclo de Rankine orgânico incluem na sua produção arrefecedores/condensadores que funcionam como fonte fria permitindo a condensação do fluido orgânico. Neste caso poderá ser usado como fonte fria o circuito de água industrial da fábrica, permitindo uma redução substancial no custo do sistema.

A água deste circuito é arrefecida com o recurso a torres de arrefecimento presentes no exterior. Após conversações com a equipa responsável concluiu-se que, em média, à saída das torres a água possui uma temperatura de 20 °C podendo chegar perto dos 30 °C nos dias mais quentes.

# Capítulo 6

## O ciclo de Rankine

### orgânico

*O presente capítulo foca-se no ciclo de Rankine orgânico. Inicialmente é feita uma breve nota histórica seguindo-se o estudo de viabilidade de aplicação onde se inclui a análise termodinâmica e o contacto com fabricantes.*





## 6.1 Considerações gerais

O ciclo de Rankine é um ciclo termodinâmico fechado que converte calor em energia mecânica tendo sido desenvolvido por William Rankine (1820-1872), um físico e engenheiro escocês (18). Este ciclo é atualmente responsável por 85% da produção mundial de eletricidade, utilizando como fluido de trabalho a água (19).

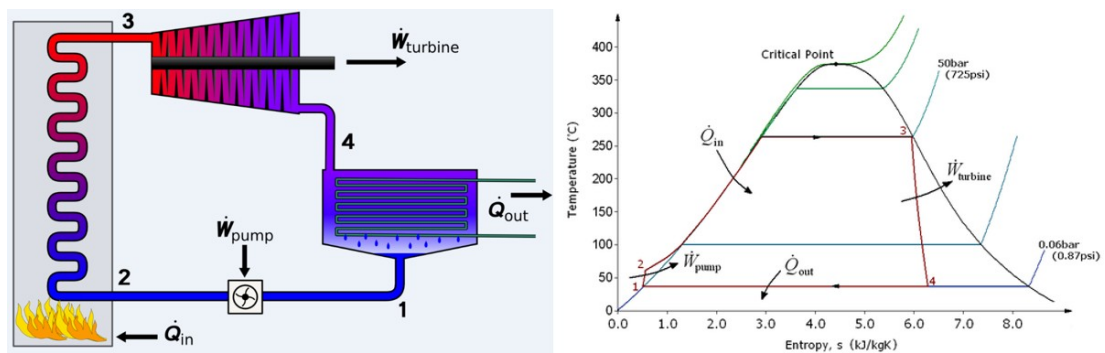


Figura 6.1 - Ciclo de Rankine: esquema de princípio e diagrama temperatura-entropia (35).

O ciclo de Rankine orgânico é uma variação que permite a produção de eletricidade a partir de fontes quentes a baixa temperatura, operando de modo similar ao ciclo convencional (com os mesmos componentes: evaporador, máquina de expansão, condensador e bomba) mas utilizando um fluido orgânico em vez de água. A grande vantagem destes fluidos é o facto do seu ponto de ebulição e calor latente serem mais baixos que os da água. Isto permite que o ciclo funcione com uma temperatura de fonte quente relativamente baixa (chegando em algumas aplicações a 66 °C), mantendo-se a pressão máxima do fluido em valores que garantam uma queda de pressão razoável na máquina de expansão ficando, ao mesmo tempo, a pressão mínima do fluido acima da atmosférica. Para baixas potências o caudal do fluido de trabalho virá superior ao caso da água o que permitirá um melhor controlo do sistema (20).

Comparativamente à água este tipo de fluidos possuem uma maior massa molecular, possibilitando caudais maiores e turbinas com maior rendimento (podendo chegar aos 85%) (21). Porém, como o ciclo se desenvolve a um diferencial de temperaturas relativamente baixo o rendimento global do processo ronda os 10-20% (dependendo das temperaturas de evaporação e condensação). Este valor é bastante menor ao obtido num ciclo de Rankine convencional (30-40%) contudo, é importante referir que isso se deve às limitações termodinâmicas inerentes ao

funcionamento de qualquer ciclo motor com baixos diferenciais térmicos entre a fonte quente e fria (22).

A tecnologia ORC permite a produção elétrica a partir da energia solar, da geotermia e do calor industrial desperdiçado. Atualmente esta tecnologia está disponível para capacidades na ordem dos MW, Figura 6.2. Porém, à escala dos kW está-se numa fase de desenvolvimento/investigação pelo que os preços ainda não são muito competitivos.

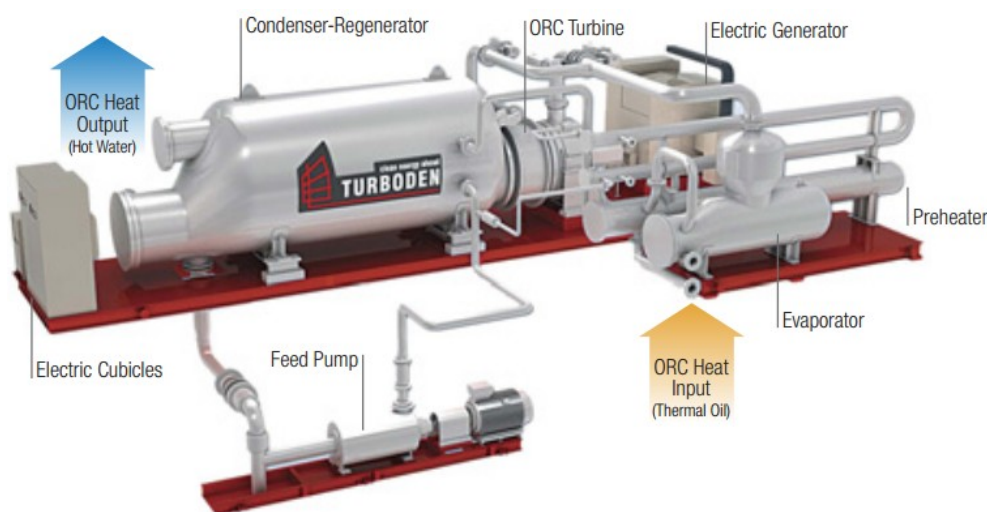


Figura 6.2 - Equipamento Turboden (potência elétrica até 3MW) (49).

As principais vantagens deste ciclo em comparação com o Rankine convencional são:

- Bom desempenho para temperaturas e pressões mais baixas;
- Expansão seca, evitando problemas nas pás da turbina;
- Maiores caudais, tornando o controlo mais fácil para baixas potências;
- Menor velocidade de rotação conduzindo a uma menor fadiga mecânica e permitindo o acoplamento direto de um gerador sem redutor;
- Solução construtiva compacta, robusta e fiável;
- Bom desempenho em regime de carga parcial;
- Reduzida manutenção.

### 6.1.1 Esquema de princípio

Na figura seguinte é apresentado um esquema de princípio deste ciclo, estando as evoluções termodinâmicas representadas num diagrama temperatura-entropia.

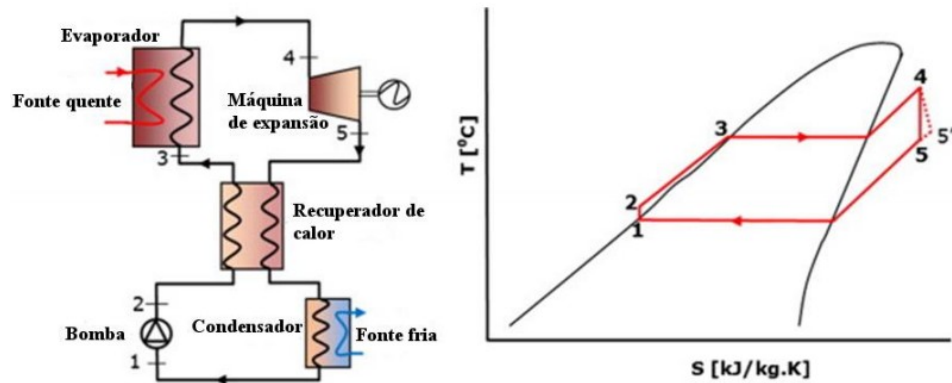


Figura 6.3 - Ciclo de Rankine orgânico com recuperação de calor (20).

O fluido, após condensar, passa por uma bomba aumentando a sua pressão (ponto 2), sendo pré-aquecido através do recuperador de calor. No evaporador, o calor da fonte quente faz com que o fluido mude de fase (ponto 4). A expansão deste permite a produção de energia mecânica sendo posteriormente convertida em elétrica. Por último, após passar novamente no recuperador, o fluido condensa devido à troca energética com a fonte fria do ciclo (ponto 1). Alguns fabricantes deste tipo de máquinas não incluem o recuperador de calor nos seus equipamentos. Neste caso o vapor, antes da expansão, está no estado sobreaquecido porém certos fabricantes optam por realizar a expansão com vapor saturado.

### 6.1.2 Fluidos de trabalho

Um dos pontos fulcrais para um bom desempenho deste tipo de sistemas é a escolha do fluido de trabalho. Pretende-se que o fluido escolhido maximize o rendimento/potência gerada diminuindo o trabalho das bombas (20).

Relativamente à forma da curva de vapor saturado distinguem-se três categorias de fluidos (ver Figura 6.4):

- Fluido húmido: a curva de vapor saturado apresenta um declive ( $dT/ds$ ) negativo. A expansão ocorre na zona de vapor húmido pelo que tem de se ter cuidado ao escolher o material da máquina de expansão de forma a esta suportar as gotas de líquido do vapor (por

vezes o fluido é sobreaquecido). Um exemplo deste tipo de fluidos é a água;

- Fluido isentrópico: a expansão dá-se ao longo da linha de vapor saturado no diagrama  $T-s$ . O R-124 é um exemplo deste tipo de fluidos;
- Fluido seco: a curva de vapor saturado tem um declive positivo. Este é o tipo ideal de fluido para turbinas visto a expansão ocorrer para uma zona de vapor sobreaquecido, evitando riscos de erosão das pás da mesma. Um exemplo deste tipo de fluidos é o R245fa.

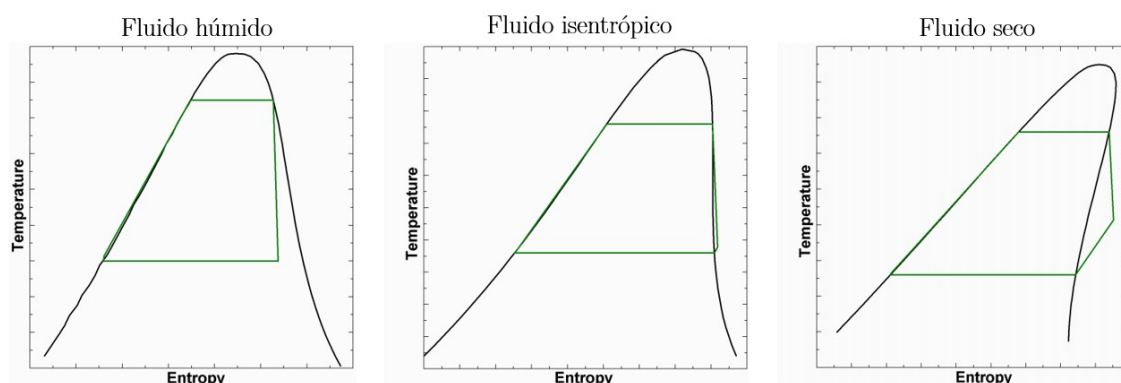


Figura 6.4 - Tipos de fluidos de trabalho, adaptado de (47).

Conclui-se então que a escolha deve recair sempre que possível por fluidos isentrópicos ou secos. Bastantes fluidos orgânicos apresentam este tipo de comportamento, sendo tal uma das grandes vantagens das máquinas ORC.

Ao contrário da água, os fluidos orgânicos costumam sofrer deteriorações químicas e decomposições a elevadas temperaturas. Posto isto, estes devem ser térmica e quimicamente estáveis para todas as condições de funcionamento. A temperatura máxima da fonte quente está então limitada pela estabilidade a alta temperatura do fluido de trabalho (20).

O fluido selecionado não deve ser corrosivo, tóxico nem apresentar índices de autoignição elevados. Deve ter-se em conta também alguns parâmetros ambientais como o Potencial de Empobrecimento da Camada de Ozono (ODP), o Potencial de Aquecimento Global (GWP) e o tempo de permanência na atmosfera (TPA) (20).

### 6.1.3 Principais aplicações

Em seguida são apresentadas algumas das principais aplicações do ciclo de Rankine orgânico.

#### 6.1.3.1 Calor industrial

Nos últimos anos o constante aumento do preço da energia e a necessidade de reduzir as emissões de  $\text{CO}_2$  contribuíram para o aumento da importância do aproveitamento energético nos processos industriais.

Em todas as indústrias existem resíduos térmicos: gás de escape de caldeiras, turbinas e motores, correntes de água quente industrial, condensados a elevada temperatura, etc. Estas fontes quentes (consideradas de baixa temperatura quando comparadas com o ciclo de Rankine convencional) podem ser aproveitadas num ciclo de Rankine orgânico permitindo gerar eletricidade.

A integração deste tipo de equipamento nas indústrias torna-as mais eficientes e ecológicas, visto estar-se a aproveitar os desperdícios das mesmas. Porém, é necessário algum cuidado quando a aplicação é feita nos gases de escape pois existem combustíveis (como a nafta) cujo arrefecimento dos respetivos gases tem de ser controlado para evitar a condensação de compostos de enxofre que originam problemas de corrosão (23).



Figura 6.5 - Gases de escape e vapor “flash” são exemplos de desperdícios térmicos que podem ser aproveitados num ORC. (36)

### 6.1.3.2 Energia Solar

Outra possível aplicação do ciclo de Rankine orgânico é a utilização de água (ou outro fluido de transferência de calor) cujo aquecimento é obtido através da energia do Sol (ver Figura 6.6).

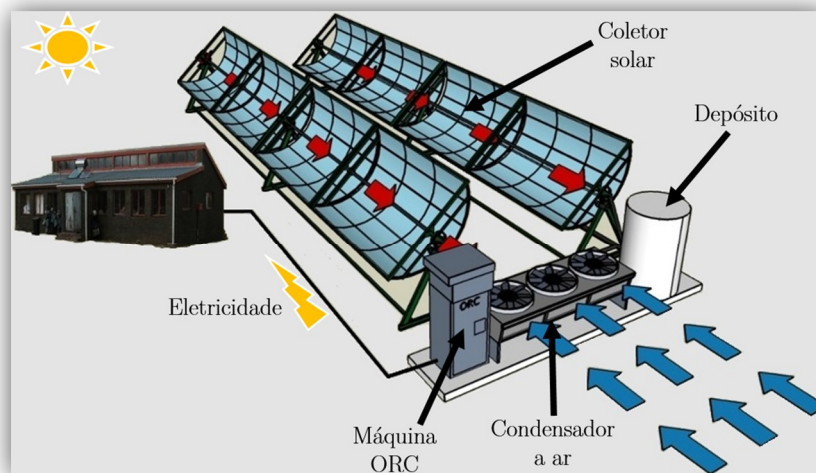


Figura 6.6 - Aproveitamento da energia solar num ciclo de Rankine orgânico, adaptado de (37).

O fluido de transferência de calor (ex. água) é aquecido através de coletores solares do tipo concentradores parabólicos, podendo ser atingidas temperaturas na ordem dos 160°C. A existência do depósito é justificada pela necessidade de se ter um melhor controlo da temperatura à entrada da máquina ORC, funcionando como bateria térmica permitindo uma melhor estabilidade do sistema. Neste caso a condensação é feita a ar, podendo também ser realizada a água.

As principais vantagens comparativamente aos sistemas fotovoltaicos convencionais são:

- Possibilidade de acumulação do calor produzido em excesso permitindo o seu uso mais tarde (ex: durante o dia é armazenado calor em excesso permitindo produção de eletricidade durante a noite);
- Eficiência mais regular ao longo do tempo de vida útil;
- Possibilidade da criação de soluções integradas como, por exemplo, águas sanitárias serem pré-aquecidas através do calor cedido pelo condensador do ciclo.

Esta solução pode ser bastante interessante para as regiões sub-desenvolvidas, onde não existe rede elétrica e que têm um número considerável de horas de sol por ano (como é o caso dos países africanos).



### 6.1.3.3 Energia geotérmica

A energia geotérmica é uma forma renovável de energia tendo por base o calor presente no subsolo (a taxa média de aquecimento ao longo da crosta terrestre é cerca de 3 °C a cada 100 metros) (24). Tal como no caso anterior o fluido de transferência de calor é normalmente a água, esta é aquecida no subsolo sendo a energia posteriormente transferida para a máquina ORC. A energia geotérmica é das formas de energia renovável com mais potencial visto estar sempre disponível, sendo independente das condições atmosféricas, algo que não acontece com a energia eólica e solar por exemplo (5).



Figura 6.7 - Energia geotérmica (24).

A máquina ORC poderá fazer parte de uma solução integrada onde o calor do interior da terra também seria aproveitado por exemplo em estufas de cultivo ou até mesmo em Spas.

### 6.1.3.4 Combustão de biomassa

A biomassa é um recurso energético renovável e que pode ser armazenado durante um longo período de tempo sem perder potencial. Encontra-se amplamente disponível em processos agrícolas e industriais.



Figura 6.8 - A biomassa é um recurso abundante em regiões florestais (38).

É um recurso visto com grande vantagem quando aplicado a nível local pois possui uma baixa densidade energética (o que aumenta os custos de transporte) sendo empregado em aplicações locais (casos onde não existe rede elétrica, por exemplo). Atualmente o ciclo de Rankine orgânico é a tecnologia mais aceita no que à produção descentralizada de eletricidade via biomassa diz respeito (20).

## 6.2 Estudo termodinâmico

Na presente secção é feita uma análise termodinâmica de modo a avaliar o potencial de aplicação de um sistema de produção de eletricidade baseado no ciclo de Rankine orgânico, utilizando como fontes quentes as apresentadas no capítulo transato, ou seja a corrente de *blowdown*, a corrente de condensados limpos e os gases de escape da cogeração. Primeiramente é estudado o potencial individual de cada fonte seguindo-se a avaliação das diferentes combinações possíveis entre fontes de modo a que estas sejam incorporadas no mesmo ciclo.

Todas as simulações foram realizadas com o *software* EES (códigos em anexo). Em cada subcapítulo são descritas as considerações feitas relativas às simulações realizadas. Porém, os aspetos que em seguida se enumeram são comuns a todas:

- Os permutadores de calor (considerados adiabáticos) são do tipo contracorrente, sendo a diferença entre a temperatura de entrada do fluido quente (aquecedor) e a de saída do fluido frio (aquecido) de 10°C;
- O economizador, também adiabático, possui uma eficiência de 70%;
- O alternador (que converte a energia mecânica em elétrica) tem um rendimento de 80%;
- Não serão consideradas perdas de carga do fluido orgânico;
- De modo a compensar o ponto anterior serão realizados testes para rendimentos isentrópicos dos equipamentos de expansão e de compressão de 80% e 70%;
- Relativamente à temperatura de condensação do fluido orgânico serão apresentados resultados para o caso desta ser 30°C e 40°C.
- Como fluido de estudo foi usado o R245fa por ser um dos mais utilizados comercialmente, todavia serão também apresentados resultados para outros fluidos orgânicos.



Em cada secção, após as considerações particulares da mesma, será apresentado um esquema do ciclo em estudo e uma tabela com as condições iniciais das diferentes simulações. Posteriormente mostram-se os resultados obtidos sobre a forma tabular seguindo-se os diagramas temperatura-entropia de modo a complementar a análise.

Como resultado de cada simulação apresenta-se:

- $\dot{Q}_{fq}$  - Potência calorífica cedida pela(s) fonte(s) quente(s);
- $\dot{m}_1$  - Caudal de fluido orgânico;
- $\dot{W}_t$  - Potência da turbina;
- $\dot{W}_e$  - Potência elétrica gerada;
- $\dot{W}_b$  - Potência necessária da bomba;
- $\dot{W}_{liq}$  - Potência líquida (a diferença entre a potência elétrica e a potência da bomba);
- $\dot{Q}_{ff}$  - Potência calorífica que é necessário dissipar para a fonte fria;
- $\eta_{ins}$  - Rendimento da instalação (quociente entre a potência líquida e a potência calorífica cedida pelas fontes quentes).

No final do presente subcapítulo serão apresentadas as conclusões relativas a este estudo termodinâmico. O código EES correspondente à modelação do sistema encontra-se em anexo.

## 6.2.1 Uma fonte quente

### 6.2.1.1 A corrente de blowdown

Como referido anteriormente a temperatura média da corrente de *blowdown* é 77°C, sendo o caudal médio, mínimo e máximo 1,60kg/s, 1,33kg/s, 1,67 kg/s, respetivamente. Nas simulações apresentadas em seguida considerou-se que a durante o processo a temperatura da corrente de *blowdown* sofre uma variação de 10 °C, ou seja a temperatura final deste escoamento ( $T_{10}$ ) é 67 °C. Na Figura 6.9 está esquematizado o ciclo de

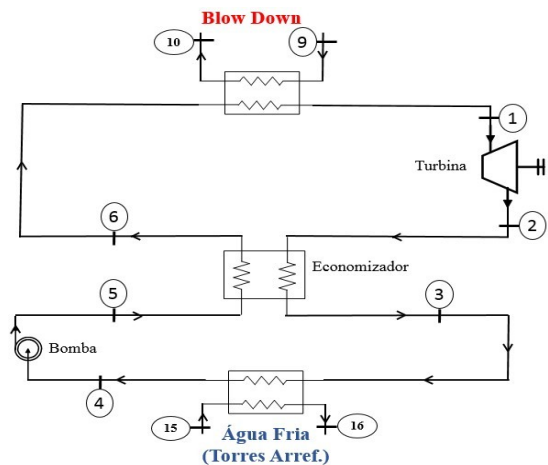


Figura 6.9 - Ciclo de Rankine orgânico que utiliza como fonte quente o caudal de *blowdown*.

Rankine orgânico para o caso em que a fonte quente é exclusivamente o caudal de *blowdown*.

Nas tabelas 6.1 e 6.2 estão presentes as condições iniciais e os resultados obtidos nas diferentes simulações realizadas. Como dados de entrada tem-se a temperatura inicial e final do caudal de *blowdown*, o seu valor mássico, a temperatura de condensação e o rendimento isentrópico da turbina e da bomba. Os números dos índices presentes em cada propriedade dizem respeito à figura anterior.

Tabela 6.1 - Condições iniciais para os diferentes casos de estudo considerando como fonte quente o caudal de *blowdown*.

Datos de entrada					
Caso	$T_9$ [°C]	$\dot{m}_{11}$ [kg/s]	$T_{10}$ [°C]	$T_4$ [°C]	$\eta_{isen}$ [%]
1	77	1,60	67	30	80
2				40	70
3				30	
4				40	
5		1,33		30	80
6				40	70
7				30	
8				40	
9		1,67		30	80
10				40	70
11				30	
12				40	
$\eta_{alt}=80\%$ $\epsilon_{eco}=70\%$					

As evoluções termodinâmicas sofridas pelo fluido orgânico, relativas às diferentes simulações (desta secção), encontram-se representadas na Figura 6.10 sobre a forma de um diagrama temperatura-entropia. O traçado da evolução termodinâmica apenas depende das temperaturas das fontes quente e fria e dos rendimentos dos equipamentos. Não depende do caudal de *blowdown*, pelo que os pontos temperatura-entropia para a situação de caudal mínimo e máximo são iguais (desde que todos os outros parâmetros se mantenham iguais). Posto isto têm-se então 4 diferentes diagramas  $T$ - $s$ , correspondentes às combinações entre as duas temperaturas de condensação (30°C e 40°C) e os dois rendimentos isentrópicos (80% e 70%).

Tabela 6.2 - Resultados obtidos para os diferentes casos de estudo considerando como fonte quente o caudal de *blowdown*.

Resultados								
Caso	$\dot{Q}_{fq}$ [kW]	$\dot{m}_1$ [kg/s]	$\dot{W}_t$ [kW]	$\dot{W}_e$ [kW]	$\dot{W}_b$ [kW]	$\dot{W}_{liq}$ [kW]	$\dot{Q}_{ff}$ [kW]	$\eta_{ins}$ [%]
1	67,01	0,33	5,49	4,39	0,12	4,27	61,64	6,4
2	67,01	0,35	4,09	3,27	0,10	3,16	63,03	4,7
3	67,01	0,33	4,85	3,88	0,14	3,74	62,29	5,6
4	67,01	0,35	3,60	2,88	0,12	2,76	63,53	4,1
5	55,70	0,27	4,56	3,65	0,10	3,55	51,24	6,4
6	55,70	0,29	3,40	2,72	0,09	2,63	52,39	4,7
7	55,70	0,28	4,03	3,23	0,11	3,11	51,78	5,6
8	55,70	0,29	2,99	2,40	0,10	2,30	52,81	4,1
9	69,94	0,34	5,73	4,58	0,12	4,46	64,34	6,4
10	69,94	0,36	4,27	3,41	0,11	3,30	65,78	4,7
11	69,94	0,35	5,06	4,05	0,14	3,91	65,02	5,6
12	69,94	0,36	3,78	3,01	0,13	2,88	66,31	4,1

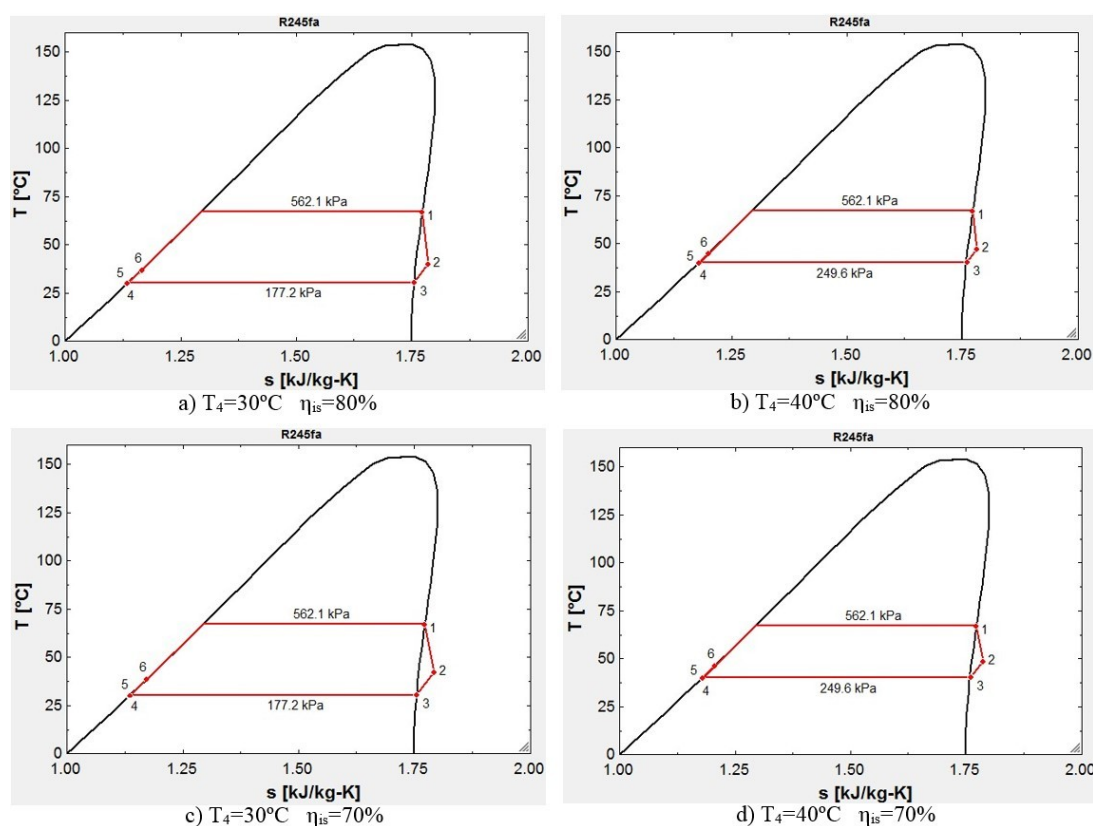


Figura 6.10 - Diagramas temperatura-entropia representativos do ciclo de Rankine orgânico que utiliza como fonte quente a corrente de *blowdown*.

### 6.2.1.2 A corrente de condensados

Na corrente de condensados limpos que vão ser recirculados para a caldeira tem-se um diferencial térmico permitido de aproximadamente 10 °C (os condensados têm de regressar ao desgasificador no mínimo a 105 °C). Sendo assim considerou-se nas simulações que a corrente de condensados abandona a máquina de produção de eletricidade a uma temperatura de 106°C ( $T_{12}$ ). Na figura seguinte está representado o ciclo em análise.

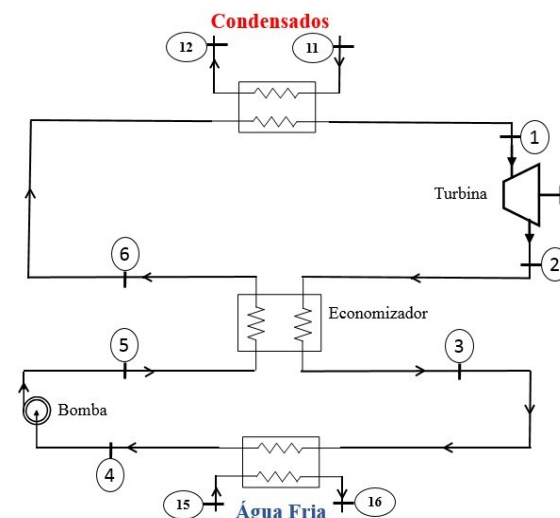


Figura 6.11 - Ciclo de Rankine orgânico que utiliza como fonte quente a corrente de condensados.

Na tabela seguinte encontram-se as condições iniciais para as diferentes simulações seguindo-se a tabela dos respetivos resultados. Como dados iniciais tem-se a temperatura de entrada e de saída da corrente de condensados, o caudal da fonte quente, a temperatura de condensação do fluido orgânico e o rendimento isentrópico dos equipamentos.

Tabela 6.3 - Condições iniciais para os diferentes casos de estudo considerando como fonte quente a corrente de condensados.

Dados de entrada					
Caso	$T_{11}$ [°C]	$\dot{m}_{11}$ [kg/s]	$T_{12}$ [°C]	$T_4$ [°C]	$\eta_{isen}$ [%]
1	116	3,00	106	30	80
2				40	
3				30	70
4				40	
5		2,16		30	80
6				40	
7				30	70
8				40	
9		3,90		30	80
10				40	
11				30	70
12				40	
$\eta_{alt}=80\%$ $\epsilon_{eco}=70\%$					

Tabela 6.4 - Resultados para os diferentes casos de estudo considerando como fonte quente a corrente de condensados.

Resultados								
Caso	$\dot{Q}_{fq}$ [kW]	$\dot{m}_1$ [kg/s]	$\dot{W}_t$ [kW]	$\dot{W}_e$ [kW]	$\dot{W}_b$ [kW]	$\dot{W}_{liq}$ [kW]	$\dot{Q}_{ff}$ [kW]	$\eta_{ins}$ [%]
1	127,00	0,58	18,01	14,41	0,70	13,71	109,70	10,8
2	127,00	0,61	15,84	12,67	0,71	11,97	111,90	9,4
3	127,00	0,59	16,04	12,83	0,81	12,02	111,80	9,5
4	127,00	0,62	14,07	11,26	0,82	10,44	113,70	8,2
5	91,44	0,42	12,97	10,38	0,50	9,87	78,98	10,8
6	91,44	0,44	11,40	9,12	0,51	8,61	80,55	9,4
7	91,44	0,43	11,55	9,24	0,58	8,67	80,48	9,5
8	91,44	0,45	10,13	8,11	0,59	7,52	81,90	8,2
9	165,10	0,76	23,41	18,73	0,90	17,82	142,60	10,8
10	165,10	0,80	20,59	16,47	0,92	15,55	145,40	9,4
11	165,10	0,77	20,85	16,68	1,05	15,63	145,30	9,5
12	165,10	0,81	18,30	14,64	1,07	13,57	147,90	8,2

Os quatro diagramas temperatura-entropia representativos das simulações acima descritas apresentam-se na figura seguinte.

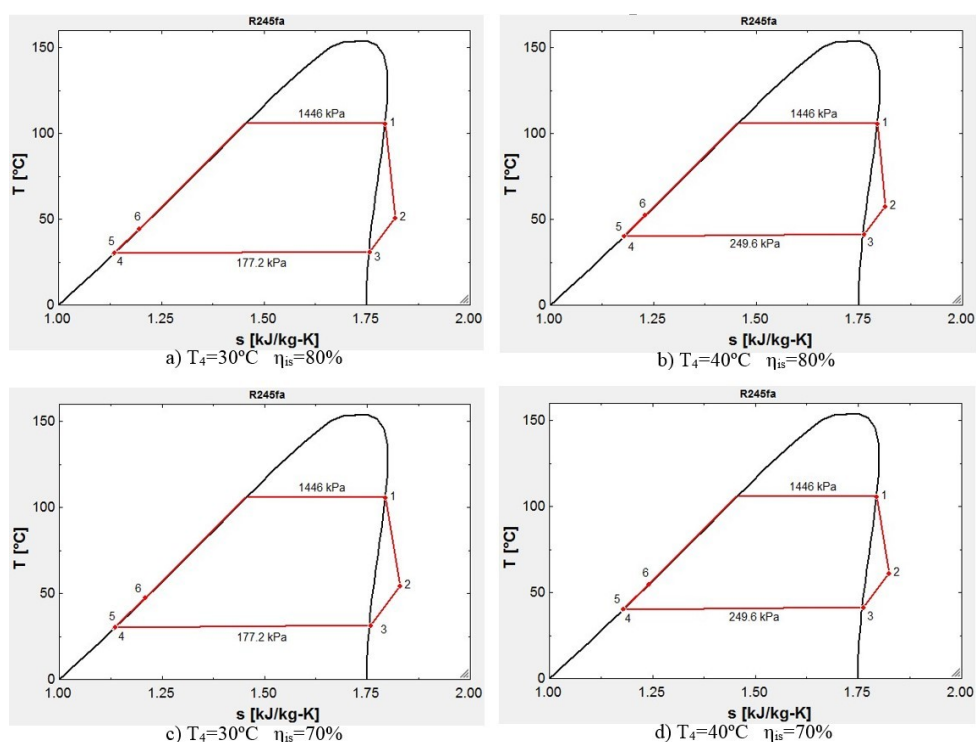


Figura 6.12 – Diagramas temperatura-entropia representativos do ciclo de Rankine orgânico que utiliza como fonte quente a corrente de condensados.

### 6.2.1.3 Os gases de escape da cogeração

A fonte quente que possui maior potencial térmico (caudal e temperatura) são os gases de escape do sistema de cogeração (18.2kg/s 150°C). Nas simulações presentes neste subcapítulo admite-se que a temperatura final destes gases é 120°C (casos 1 a 4) e 130 °C (casos 5 a 8).

Na figura ao lado está representado o esquema do ciclo de Rankine orgânico que utiliza como fonte quente os gases de escape do sistema de cogeração.

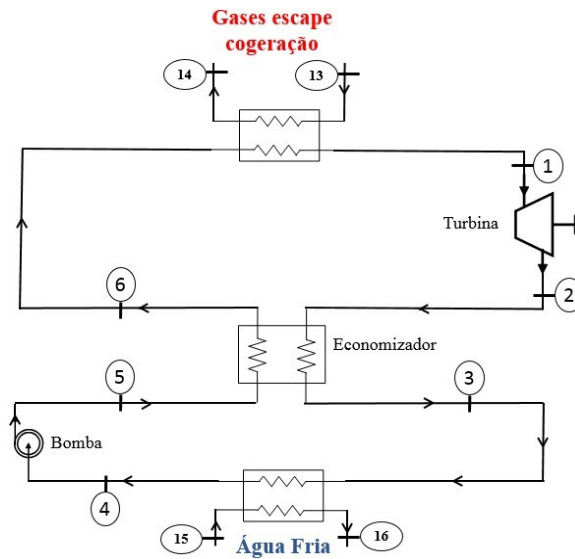


Figura 6.13 - Ciclo de Rankine orgânico que utiliza como fonte quente os gases de escape da cogeração.

Na Tabela 6.5 apresentam-se as condições iniciais para as várias simulações relativas aos gases de escape. A temperatura de entrada e de saída dos gases, o caudal dos mesmos, a temperatura de condensação do fluido orgânico e o rendimento isentrópico da bomba e da turbina são as condições iniciais para este conjunto de simulações. A modelação (EES) do sistema encontra-se em anexo.

Tabela 6.5 - Condições iniciais para os diferentes casos de estudo considerando como fonte quente os gases de escape.

Datos de entrada					
Caso	$T_{13}$ [°C]	$\dot{m}_{13}$ [kg/s]	$T_{14}$ [°C]	$T_4$ [°C]	$\eta_{isen}$ [%]
1	150	18,20	120	30	80
2				40	
3				30	70
4				40	
5			130	30	80
6				40	
7				30	70
8				40	
$\eta_{alt}=80\% \quad \epsilon_{eco}=70\%$					

Na Tabela 6.6 apresentam-se os resultados para as diferentes simulações.

Tabela 6.6 - Resultados para os diferentes casos de estudo considerando como fonte quente os gases de escape da cogeração.

Resultados								
Caso	$\dot{Q}_{fq}$ [kW]	$\dot{m}_1$ [kg/s]	$\dot{W}_t$ [kW]	$\dot{W}_e$ [kW]	$\dot{W}_b$ [kW]	$\dot{W}_{liq}$ [kW]	$\dot{Q}_{ff}$ [kW]	$\eta_{ins}$ [%]
1	587,50	2,60	102,50	82,01	6,45	75,57	491,40	12,9
2	587,50	2,73	93,74	74,99	6,73	68,26	500,50	11,6
3	587,50	2,66	91,72	73,37	7,54	65,84	503,30	11,2
4	587,50	2,78	83,69	66,95	7,85	59,10	511,70	10,1
5	391,70	1,73	68,35	54,68	4,30	50,38	327,60	12,9
6	391,70	1,82	62,49	50,00	4,49	45,51	333,70	11,6
7	391,70	1,77	61,15	48,92	5,02	43,89	335,50	11,2
8	391,70	1,87	55,79	44,63	5,23	39,40	341,10	10,1

Na Figura 6.4 apresentam-se os diagramas temperatura-entropia relativos às simulações anteriormente realizadas. Tal como nos casos anteriores mostram-se quatro diagramas correspondentes às combinações entre as duas temperaturas de condensação e os dois rendimentos isentrópicos dos equipamentos que foram considerados.

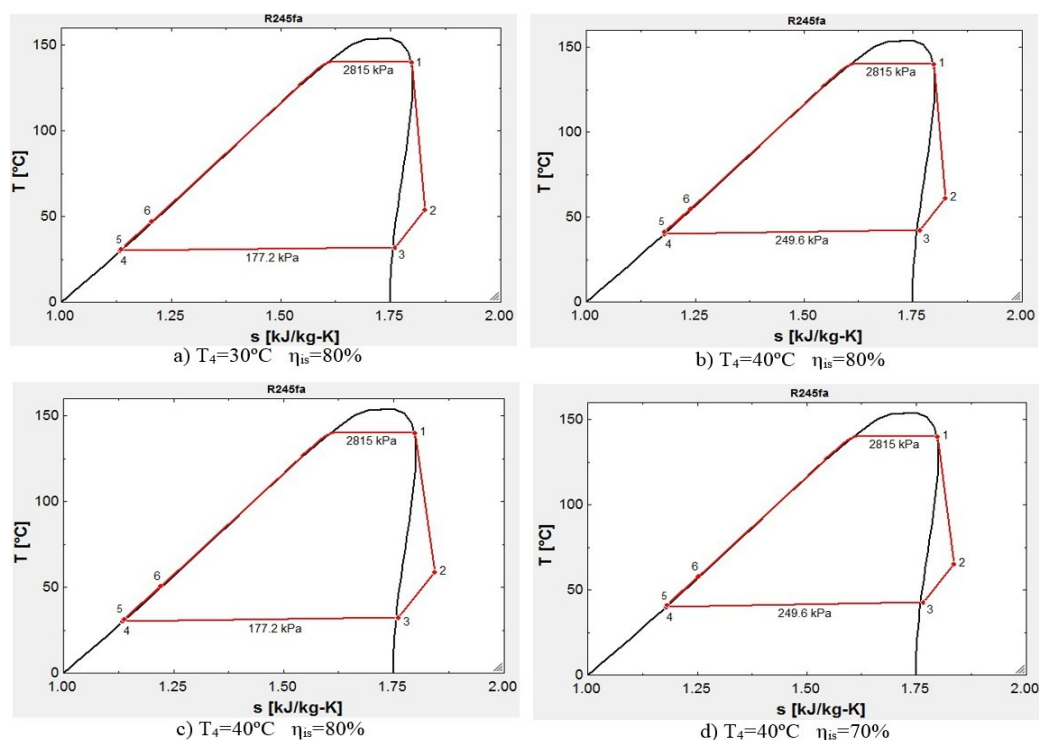


Figura 6.14 - Diagramas temperatura-entropia representativos do ciclo de Rankine orgânico que utiliza como fonte quente a corrente dos gases de escape.

### 6.2.2 Duas fontes quentes

Em seguida é avaliado o potencial de integração no mesmo ciclo de Rankine orgânico de duas fontes quentes: o caudal de *blowdown* e a corrente de condensados limpos. Optou-se pela realização desta simulação dada a proximidade física destas duas fontes quentes. Na Figura 6.15 está representado o esquema de princípio desta solução, o fluido é pré-aquecido através da energia transferida pela corrente de *blowdown* ocorrendo a mudança de fase com a troca calorífica da corrente de condensados limpos. Mais uma vez considerou-se que a temperatura final dos condensados limpos é 106 °C (arrefecem 10 °C durante o processo).

Os parâmetros do ciclo controlados inicialmente (Tabela 6.7) são a temperatura de entrada e caudal de *blowdown*, a temperatura de entrada, de saída e caudal da corrente de condensados limpos, a temperatura de condensação do fluido orgânico e o rendimento isentrópico dos equipamentos.

Nas próximas tabelas são apresentadas as condições inicialmente consideradas para os diferentes casos seguindo-se dos resultados respetivos. De forma a complementar a análise são também apresentados 4 diagramas  $T-s$  correspondentes. Tal como nos casos anteriores o código da modelação encontra-se em anexo.

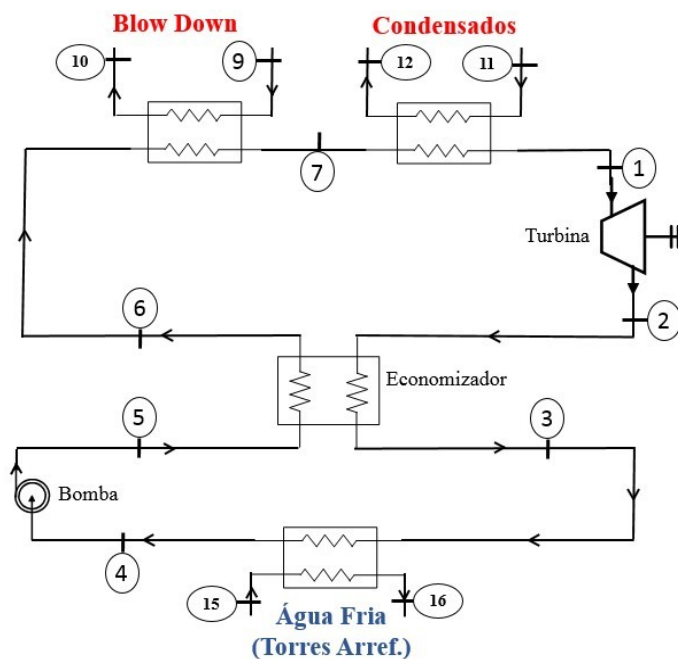


Figura 6.15 - Ciclo de Rankine orgânico que utiliza como fontes quentes o caudal de *blowdown* e a corrente de condensados.



Tabela 6.7 - Condições iniciais para os diferentes casos de estudo considerando como fontes quentes o caudal de *blowdown* e a corrente de condensados.

Dados de entrada							
Caso	$T_9$ [°C]	$\dot{m}_9$ [kg/s]	$T_{11}$ [°C]	$\dot{m}_{11}$ [kg/s]	$T_{12}$ [°C]	$T_4$ [°C]	$\eta_{isen}$ [%]
1	77	1,60	116	3,00	106	30	80
2						40	
3						30	70
4						40	
5		1,33	116	2,16	106	30	80
6						40	
7						30	70
8						40	
9		1,67	116	3,90	106	30	80
10						40	
11						30	70
12						40	
$\eta_{alt}=80\% \quad \varepsilon_{eco}=70\%$							

Tabela 6.8 - Resultados para os diferentes casos de estudo considerando como fontes quentes o caudal de *blowdown* e a corrente de condensados.

Resultados									
Caso	$T_{10}$ [°C]	$\dot{Q}_{fq}$ [kW]	$\dot{m}_1$ [kg/s]	$\dot{W}_t$ [kW]	$\dot{W}_e$ [kW]	$\dot{W}_b$ [kW]	$\dot{W}_{liq}$ [kW]	$\dot{Q}_{ff}$ [kW]	$\eta_{ins}$ [%]
1	73,86	148,07	0,68	20,99	16,79	0,81	15,98	127,90	10,8
2	74,97	140,64	0,68	17,54	14,03	0,78	13,25	123,90	9,4
3	74,25	145,40	0,68	18,37	14,70	0,93	13,77	128,00	9,5
4	75,29	138,50	0,68	15,35	12,28	0,89	11,38	124,00	8,2
5	74,28	106,61	0,49	15,12	12,10	0,58	11,51	92,08	10,8
6	75,24	101,26	0,49	12,63	10,10	0,56	9,54	89,20	9,4
7	74,62	104,70	0,49	13,23	10,58	0,67	9,91	92,16	9,5
8	75,52	99,70	0,49	11,05	8,84	0,64	8,20	89,30	8,2
9	73,09	192,49	0,88	27,29	21,83	1,06	20,78	166,30	10,8
10	74,47	182,83	0,88	22,80	18,24	1,01	17,22	161,10	9,4
11	73,57	189,10	0,88	23,88	19,11	1,21	17,90	166,40	9,5
12	74,87	189,00	0,88	19,95	15,96	1,16	14,80	161,20	8,2

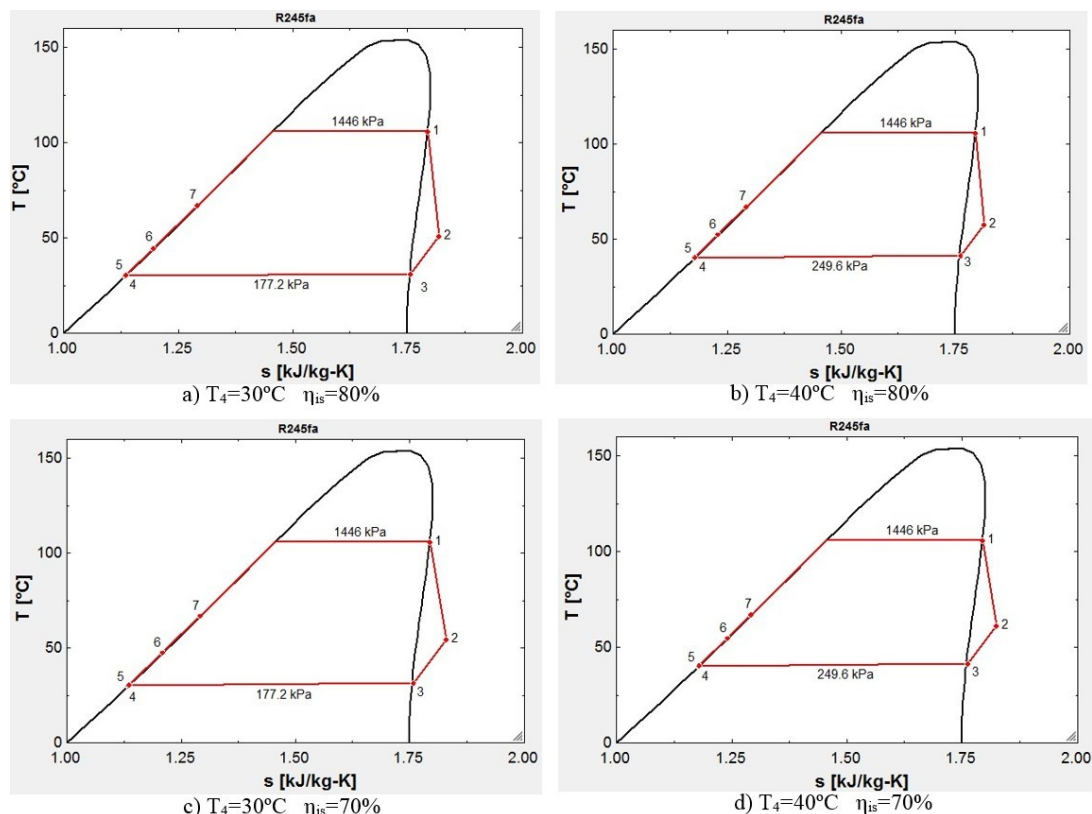


Figura 6.16 - Diagramas temperatura-entropia representativos do ciclo de Rankine orgânico que utiliza 2 fontes quentes (*blowdown* e condensados).

### 6.2.3 Três fontes quentes

Nesta secção será feita a avaliação da potência elétrica passível de ser obtida com o uso em série das três fontes quentes. O fluido é então sucessivamente aquecido, mudando de fase através da troca calorífica com os gases de escape do sistema de cogeração. O ciclo encontra-se esquematicamente representado na Figura 6.17. São feitas simulações para os casos de caudal de *blowdown* e condensados médio, máximo e mínimo. Para todos os casos as simulações foram realizadas usando as temperaturas médias das fontes quentes descritas anteriormente.

Na Tabela 6.9 estão descritas as condições iniciais utilizadas em cada caso estando os resultados dos mesmos presentes na Tabela 6.10. São igualmente apresentados os diagramas temperatura-entropia correspondentes.

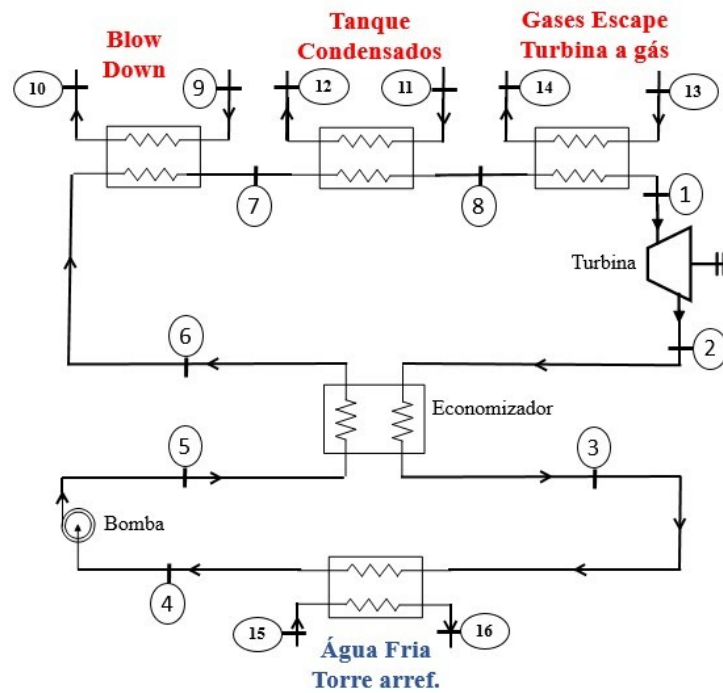


Figura 6.17 - Ciclo de Rankine orgânico que utiliza as 3 fontes quentes.

Tabela 6.9 - Condições iniciais para os diferentes casos de estudo considerando a utilização das 3 fontes quentes.

Datos de entrada									
Caso	$T_9$ [°C]	$\dot{m}_9$ [kg/s]	$T_{11}$ [°C]	$\dot{m}_{11}$ [kg/s]	$T_{12}$ [°C]	$T_{13}$ [°C]	$\dot{m}_{13}$ [kg/s]	$T_4$ [°C]	$\eta_{isen}$ [%]
1	77	1,60	116	3,00	106	150	18,20	30	80
2								40	
3								30	70
4								40	
5		1,33	116	2,16	106	150	18,20	30	80
6								40	
7								30	70
8								40	
9		1,67	116	3,90	106	150	18,20	30	80
10								40	
11								30	70
12								40	
$\eta_{alt}$ =80% $\epsilon_{eco}$ =70%									

Tabela 6.10 - Resultados para os diferentes casos de estudo considerando a utilização das 3 fontes quentes.

Resultados										
Caso	$T_{10}$ [°C]	$T_{14}$ [°C]	$\dot{Q}_{fq}$ [kW]	$\dot{m}_1$ [kg/s]	$\dot{W}_t$ [kW]	$\dot{W}_e$ [kW]	$\dot{W}_b$ [kW]	$\dot{W}_{liq}$ [kW]	$\dot{Q}_{ff}$ [kW]	$\eta_{ins}$ [%]
1	68,06	134,20	494,49	2,19	86,28	69,02	5,43	63,60	413,60	12,9
2	71,62	134,20	470,70	2,19	75,10	60,08	5,39	54,69	401,00	11,6
3	69,68	134,20	483,63	2,19	75,50	60,40	6,20	54,20	414,30	11,2
4	73,01	134,20	461,34	2,19	65,71	52,57	6,16	46,41	401,80	10,1
5	69,26	138,70	355,96	1,57	62,12	49,70	3,91	45,79	297,80	12,9
6	72,34	138,70	338,83	1,57	54,07	43,27	3,88	39,37	288,70	11,6
7	70,66	138,70	348,14	1,57	54,36	43,49	4,47	39,02	298,30	11,2
8	73,55	138,70	332,09	1,57	47,31	37,85	4,44	33,41	289,30	10,1
9	65,87	129,50	642,76	2,84	112,20	89,76	7,06	82,71	537,70	12,9
10	70,29	129,50	611,82	2,84	97,63	78,10	7,01	71,10	521,20	11,6
11	67,89	129,50	628,64	2,84	98,15	78,52	8,06	70,46	538,60	11,2
12	72,03	129,50	599,66	2,84	85,43	68,34	8,01	60,33	533,30	10,1

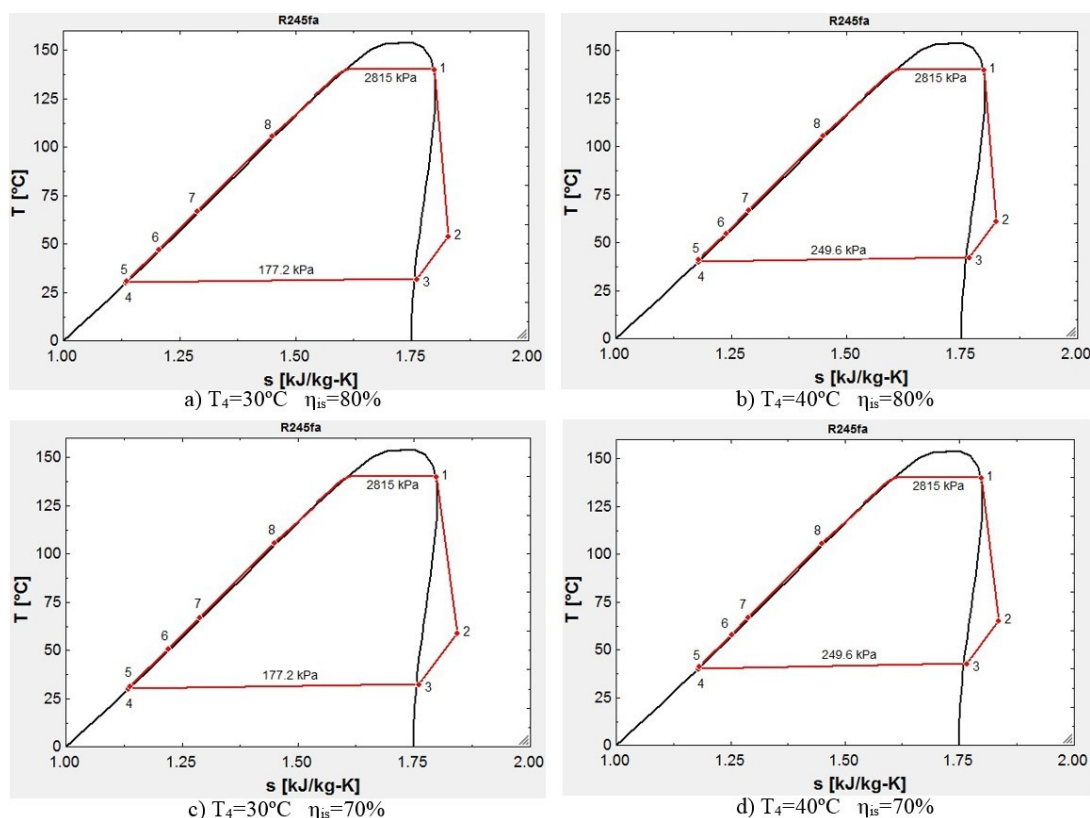


Figura 6.18 - Diagramas temperatura-entropia representativos do ciclo de Rankine orgânico que utiliza as 3 fontes quentes.

## 6.2.4 Outros fluidos orgânicos

Em seguida serão apresentados os resultados de simulações realizadas usando outros fluidos orgânicos (para a aplicação em conjunto das 3 fontes quentes) efetuando-se posteriormente uma comparação da performance conseguida nos diferentes casos. Foram utilizados os valores médios para os caudais e temperaturas. Em ambos os casos considerou-se uma temperatura de condensação de 30°C e rendimento isentrópico da bomba e da turbina de 70%. Optou-se por realizar as seguintes simulações com Isopentano (R601a) e com o R123 pelo fato de não serem tóxicos, terem um potencial de destruição da camada de ozono (ODP) e de aquecimento global (GWP) extremamente reduzidos (20). Outros factos que justificam esta escolha são as expansões serem secas e os calores latentes serem inferiores ao da água (permitindo um melhor controlo de caudal, o que é importante para baixas potências). O inconveniente do Isopentano é ser inflamável o que implica certos cuidados na sua aplicação. Nas secções seguintes são apresentados os resultados das simulações bem como os respetivos diagramas temperatura-entropia.

### 6.2.4.1 Fluido 1 – Isopentano R601a

Tabela 6.11 - Resultados da simulação usando como fluido de trabalho o R601a.

Resultados R601a	
$T_{10}$ [°C]	76,91
$T_{14}$ [°C]	130,00
$\dot{Q}_{fq}$ [kW]	517,70
$\dot{m}_1$ [kg/s]	1,24
$\dot{W}_t$ [kW]	87,19
$\dot{W}_e$ [kW]	69,75
$\dot{W}_b$ [kW]	4,23
$\dot{W}_{liq}$ [kW]	65,52
$\dot{Q}_{ff}$ [kW]	434,80
$\eta_{ins}$ [%]	12,7

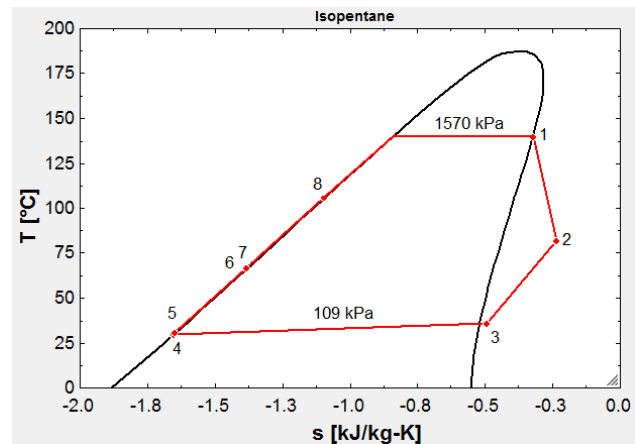


Figura 6.19 - Diagrama T-s do isopentano.

### 6.2.4.2 Fluido 2 – R123

Tabela 6.12 - Resultados da simulação usando como fluido de trabalho o R123.

Resultados R123	
$T_{10}$ [°C]	72,02
$T_{14}$ [°C]	128,50
$\dot{Q}_{fq}$ [kW]	579,81
$\dot{m}_1$ [kg/s]	2,87
$\dot{W}_t$ [kW]	94,43
$\dot{W}_e$ [kW]	77,14
$\dot{W}_b$ [kW]	4,66
$\dot{W}_{liq}$ [kW]	72,48
$\dot{Q}_{ff}$ [kW]	488,10
$\eta_{ins}$ [%]	12,5

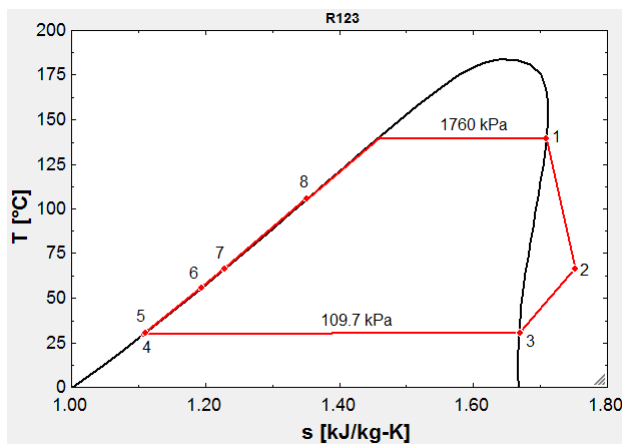


Figura 6.20 - Diagrama T-s relativo ao R123.

### 6.2.4.3 Comparação entre os fluidos orgânicos

Na Tabela 6.13 seguinte está presente uma comparação entre os três fluidos estudados.

Tabela 6.13 - Comparação entre os 3 fluidos estudados.

	$\dot{Q}_{fq}$ [kW]	$\dot{m}_1$ [kg/s]	$\dot{W}_{liq}$ [kW]	$\eta_{ins}$ [%]
R245fa	483,63	2,19	54,20	11,2
R601a	517,70	1,24	65,52	12,7
R123	579,81	2,87	72,48	12,5

Como se constata os dois fluidos selecionados possuem melhores performances comparativamente ao R245fa. O fluido que apresenta um trabalho líquido do sistema superior é o R123, justificável devido ao facto de conseguir extrair uma maior quantidade de energia das fontes quentes, apresentando também um maior caudal de circulação. Embora não seja o que apresente maior potencial de produção de eletricidade obteve-se um maior rendimento com o R601a. Este fluido apresenta um baixo caudal de circulação devido facto do seu calor latente de vaporização ser superior aos restantes (algo que não é uma vantagem quando as potências são pequenas). Verifica-se então que o desempenho do ciclo depende em grande parte do fluido de trabalho. Embora teoricamente estes dois últimos fluidos apresentem

melhores resultados que o R245fa outros fatores como a estabilidade química a alta temperatura e o preço tem de se ter em consideração. Aliás, como se verá adiante os fornecedores deste tipo de equipamentos, privilegiam francamente o R245fa.

## 6.2.5 Conclusões da análise termodinâmica

Como principais conclusões da análise termodinâmica tem-se:

- O trabalho elétrico (líquido) para as condições médias considerando somente uma fonte quente é cerca de 4 kW para o caudal de *blowdown*, 12 kW para a corrente de condensados limpos e 45 kW para os gases de escape;
- Integrando o caudal de *blowdown* e a corrente de condensados no mesmo ciclo o trabalho elétrico (líquido) médio ronda os 14 kW;
- Combinando as três fontes quentes num único ciclo o trabalho elétrico (líquido) é em média de 55 kW;
- O rendimento do ciclo é dependente das temperaturas das fontes quentes e frias e do rendimento isentrópico dos equipamentos. Sendo assim este atinge o mínimo (4,1%) quando apenas é utilizado o caudal de *blowdown* com rendimentos isentrópicos de 70%. O máximo rendimento da instalação (12,9%) é obtido quando o fluido muda de fase recorrendo à energia dos gases de escape e considerando que os rendimentos isentrópicos têm o valor de 80%;
- Trabalhos elétricos maiores implicam naturalmente uma instalação maior (turbina de maior dimensões e caudais maiores de fluido orgânico). Quando apenas é utilizado a corrente de *blowdown* como fonte quente o caudal de fluido orgânico é cerca de 0,4 kg/s, pode pensar-se que quanto mais baixo for este caudal melhor (instalação mais pequena) porém o controlo de baixos caudais é mais complicado pelo que se tem de encontrar um bom ponto de equilíbrio entre estes 2 aspetos (controlo vs dimensão da instalação);
- Os fluidos orgânicos apresentam características técnicas e ambientais distintas entre si pelo que os fabricantes devem ter em consideração não só a performance obtida como também as consequências para o ambiente que a utilização dos mesmos acarreta.

Os valores assim obtidos funcionaram como referência para a consulta que foi efetuada aos eventuais fornecedores. Isto é, quando estes foram contactados foram-lhes apresentadas as três possibilidades de combinação de fontes quentes tal e qual foram usadas nas simulações numéricas. Por outro lado os resultados destas simulações serviram de suporte para a compreensão dos valores apresentados nas propostas desses mesmos fornecedores.

## 6.3 Contato com fabricantes

Após o estudo termodinâmico que permitiu verificar a viabilidade da aplicação das correntes de calor atualmente desperdiçadas como fontes quentes de um ciclo de Rankine orgânico procedeu-se ao contacto com empresas fabricantes deste tipo de equipamentos. Inicialmente será feita uma breve apresentação das empresas contactadas seguindo-se as soluções propostas por cada empresa. Juntamente com cada solução será feito um estudo de viabilidade económica analisando-se parâmetros como o tempo de *payback* (simples) e a taxa interna de retorno (TIR, IRR na língua inglesa).

Qualquer das empresas considera inviável a utilização do caudal de *blowdown* como única fonte quente do ciclo de Rankine orgânico. Considerou-se uma atualização do preço da eletricidade de 2% ao ano. Segundo os fabricantes o custo de manutenção ronda os 0,01€ por cada quilowatt-hora produzido. O preço considerado para a eletricidade é de 0,08€/kWh. Considerou-se que a fábrica operava cerca de 335 dias por ano. Para a quantificação da redução das emissões de CO<sub>2</sub> resultantes da aplicação destes equipamentos foi utilizada a conversão 0,47 kgCO<sub>2</sub>/kWh (22).

### 6.3.1 Enogia

A Enogia é uma empresa francesa fundada em 2009 especializada em equipamentos baseados no ciclo de Rankine orgânico. Do seu portfolio fazem parte projetos de produção de eletricidade a partir de desperdícios térmicos industriais, energia solar, biomassa etc.

Esta empresa produz equipamentos cujas potências elétricas variam entre os 5 kW e os 100 kW.



### 6.3.1.1 Soluções apresentadas

A Enogia apresentou duas soluções:

- Aproveitamento dos gases de escape (solução 1);
- Aproveitamento da corrente de condensados limpos (solução 2).

Na tabela seguinte apresentam-se os pormenores relativos a cada solução.

Tabela 6.14 – Soluções apresentadas pela Enogia.

	Fontes quentes	Equipamento	Preço [€]	$\dot{W}_{liq}$ [kW]	Lucro médio [€/ano]	Red. em. CO <sub>2</sub> [tCO <sub>2</sub> /ano]
Solução 1	Gases escape	ENO40LT	90.000,00	40	28.050,00	151,2
Solução 2	Cond. limpos	ENO10LT	35.000,00	10	7.010,00	37,8

### 6.3.1.2 Estudo económico

Nas tabelas seguintes encontram-se os estudos económicos relativos às soluções apresentadas por esta empresa. As receitas foram calculadas com base na eletricidade produzida ao longo do ano. O resultado líquido é obtido descontando às receitas os custos de manutenção do equipamento.

As equações que serviram de base aos estudos económicos foram:

$$\text{Produção[kWh]} = \text{Potência[kW]} \cdot \text{horas de funcionamento[h]} \quad (6.1)$$

$$\text{Receitas[€]} = \text{Produção[kWh]} \cdot \text{preço eletricidade[€/kWh]} \quad (6.2)$$

$$\text{Custos[€]} = \text{Investimento inicial [€]} \quad (\text{ano } 0) \quad (6.3)$$

$$\text{Custos[€]} = \text{custo de manutencao [€/kWh]} \cdot \text{produção[kWh]} \quad (\text{anos seguintes}) \quad (6.4)$$

$$\text{Res. líquido[€]} = \text{receitas [€]} - \text{custos[€]} \quad (6.5)$$

$$\text{Acumulado[€]} = \text{Acumulado ano anterior[€]} + \text{resultado líquido ano atual[€]} \quad (6.6)$$

A taxa interna de retorno (TIR) foi calculada com base nos resultados líquidos tendo sido utilizada uma função do Excel. O *payback* corresponde ao tempo necessário para que o acumulado atinja um valor não negativo.

Tabela 6.15 - Estudo económico relativo à solução 1 da Enogia.

Ano	Preço ele. [€/kWh]	Produção [kWh]	Receitas [€]	Custos [€]	Res. líquido [€]	Acumulado [€]
0	-	-	0,00	90000,00	-90000,00	-90000,00
1	0,080	321600	25728,00	3216,00	22512,00	-67488,00
2	0,082	321600	26242,56	3216,00	23026,56	-44461,44
3	0,083	321600	26767,41	3216,00	23551,41	-20910,03
4	0,085	321600	27302,76	3216,00	24086,76	3176,73
5	0,087	321600	27848,81	3216,00	24632,81	27809,55
6	0,088	321600	28405,79	3216,00	25189,79	52999,34
7	0,090	321600	28973,91	3216,00	25757,91	78757,24
8	0,092	321600	29553,38	3216,00	26337,38	105094,63
9	0,094	321600	30144,45	3216,00	26928,45	132023,08
10	0,096	321600	30747,34	3216,00	27531,34	159554,42
11	0,098	321600	31362,29	3216,00	28146,29	187700,71
12	0,099	321600	31989,53	3216,00	28773,53	216474,24
13	0,101	321600	32629,32	3216,00	29413,32	245887,57
14	0,103	321600	33281,91	3216,00	30065,91	275953,48
15	0,106	321600	33947,55	3216,00	30731,55	306685,03
16	0,108	321600	34626,50	3216,00	31410,50	338095,53
17	0,110	321600	35319,03	3216,00	32103,03	370198,56
18	0,112	321600	36025,41	3216,00	32809,41	403007,97
19	0,114	321600	36745,92	3216,00	33529,92	436537,89
20	0,117	321600	37480,84	3216,00	34264,84	470802,73
					<i>Payback: 3,9    TIR: 27,17%</i>	

Tabela 6.16 - Estudo económico relativo à solução 2 da Enogia.

Ano	Preço ele. [€/kWh]	Produção [kWh]	Receitas [€]	Custos [€]	Res. líquido [€]	Acumulado [€]
0	-	-	0,00	35000,00	-35000,00	-35000,00
1	0,080	80400	6432,00	804,00	5628,00	-29372,00
2	0,082	80400	6560,64	804,00	5756,64	-23615,36
3	0,083	80400	6691,85	804,00	5887,85	-17727,51
4	0,085	80400	6825,69	804,00	6021,69	-11705,82
5	0,087	80400	6962,20	804,00	6158,20	-5547,61
6	0,088	80400	7101,45	804,00	6297,45	749,83
7	0,090	80400	7243,48	804,00	6439,48	7189,31
8	0,092	80400	7388,35	804,00	6584,35	13773,66
9	0,094	80400	7536,11	804,00	6732,11	20505,77

10	0,096	80400	7686,84	804,00	6882,84	27388,61
11	0,098	80400	7840,57	804,00	7036,57	34425,18
12	0,099	80400	7997,38	804,00	7193,38	41618,56
13	0,101	80400	8157,33	804,00	7353,33	48971,89
14	0,103	80400	8320,48	804,00	7516,48	56488,37
15	0,106	80400	8486,89	804,00	7682,89	64171,26
16	0,108	80400	8656,63	804,00	7852,63	72023,88
17	0,110	80400	8829,76	804,00	8025,76	80049,64
18	0,112	80400	9006,35	804,00	8202,35	88251,99
19	0,114	80400	9186,48	804,00	8382,48	96634,47
20	0,117	80400	9370,21	804,00	8566,21	105200,68
<i>Payback: 5,9 TIR: 17,88%</i>						

## 6.3.2 Rank

A Rank é uma empresa espanhola cujo foco de trabalho é a produção de eletricidade com base no ciclo de Rankine orgânico. A gama dos seus equipamentos varia entre os 5 kW e os 100 kW (potência elétrica produzida).

### 6.3.2.1 Soluções apresentadas

As soluções apresentadas pela Rank foram:

- Aproveitamento (no mesmo ciclo) das 3 fontes quentes (solução 1);
- Aproveitamento dos gases de escape (solução 2);
- Aproveitamento da corrente de condensados limpos (solução 3).

Tabela 6.17 - Soluções apresentadas pela Rank.

	Fontes quentes	Equipamento	Preço [€]	$\dot{W}_{liq}$ [kW]	Lucro médio [€/ano]	Red. em. CO <sub>2</sub> [tCO <sub>2</sub> /ano]
Solução 1	3 fontes	1103011	145.000,00	50	34.500,00	188,9
Solução 2	Gases escape	1103001	122.281,00	33	23.150,00	124,7
Solução 3	Cond. limpos	1103010	32.750,00	8	5.700,00	30,2

### 6.3.2.2 Estudo económico

Nas tabelas seguintes encontram-se os estudos económicos relativos às propostas apresentadas pela Rank.

Tabela 6.18 - Estudo económico relativo à solução 1 da Rank.

Ano	Preço ele. [€/kWh]	Produção [kWh]	Receitas [€]	Custos [€]	Res. líquido [€]	Acumulado [€]
0	-	-	0,00	145000,00	-145000,00	-145000,00
1	0,080	402000	32160,00	4020,00	28140,00	-116860,00
2	0,082	402000	32803,20	4020,00	28783,20	-88076,80
3	0,083	402000	33459,26	4020,00	29439,26	-58637,54
4	0,085	402000	34128,45	4020,00	30108,45	-28529,09
5	0,087	402000	34811,02	4020,00	30791,02	2261,93
6	0,088	402000	35507,24	4020,00	31487,24	33749,17
7	0,090	402000	36217,38	4020,00	32197,38	65946,55
8	0,092	402000	36941,73	4020,00	32921,73	98868,28
9	0,094	402000	37680,57	4020,00	33660,57	132528,85
10	0,096	402000	38434,18	4020,00	34414,18	166943,03
11	0,098	402000	39202,86	4020,00	35182,86	202125,89
12	0,099	402000	39986,92	4020,00	35966,92	238092,81
13	0,101	402000	40786,66	4020,00	36766,66	274859,46
14	0,103	402000	41602,39	4020,00	37582,39	312441,85
15	0,106	402000	42434,44	4020,00	38414,44	350856,29
16	0,108	402000	43283,13	4020,00	39263,13	390119,41
17	0,110	402000	44148,79	4020,00	40128,79	430248,20
18	0,112	402000	45031,76	4020,00	41011,76	471259,97
19	0,114	402000	45932,40	4020,00	41912,40	513172,37
20	0,117	402000	46851,05	4020,00	42831,05	556003,41
						<i>Payback: 4,9 TIR: 21,40%</i>

Tabela 6.19 - Estudo económico relativo à solução 2 da Rank.

Ano	Preço ele. [€/kWh]	Produção [kWh]	Receitas [€]	Custos [€]	Res. líquido [€]	Acumulado [€]
0	-	-	0,00	122281,00	-122281,00	-122281,00
1	0,080	265320	21225,60	2653,20	18572,40	-103708,60
2	0,082	265320	21650,11	2653,20	18996,91	-84711,69
3	0,083	265320	22083,11	2653,20	19429,91	-65281,77
4	0,085	265320	22524,78	2653,20	19871,58	-45410,20
5	0,087	265320	22975,27	2653,20	20322,07	-25088,13
6	0,088	265320	23434,78	2653,20	20781,58	-4306,55
7	0,090	265320	23903,47	2653,20	21250,27	16943,73
8	0,092	265320	24381,54	2653,20	21728,34	38672,07
9	0,094	265320	24869,17	2653,20	22215,97	60888,04
10	0,096	265320	25366,56	2653,20	22713,36	83601,40
11	0,098	265320	25873,89	2653,20	23220,69	106822,09
12	0,099	265320	26391,37	2653,20	23738,17	130560,25
13	0,101	265320	26919,19	2653,20	24265,99	154826,24
14	0,103	265320	27457,58	2653,20	24804,38	179630,62
15	0,106	265320	28006,73	2653,20	25353,53	204984,15
16	0,108	265320	28566,86	2653,20	25913,66	230897,81
17	0,110	265320	29138,20	2653,20	26485,00	257382,81
18	0,112	265320	29720,96	2653,20	27067,76	284450,58
19	0,114	265320	30315,38	2653,20	27662,18	312112,76
20	0,117	265320	30921,69	2653,20	28268,49	340381,25
					<i>Payback: 6,2    TIR: 16,91%</i>	

Tabela 6.20 - Estudo económico relativo à solução 3 da Rank.

Ano	Preço ele. [€/kWh]	Produção [kWh]	Receitas [€]	Custos [€]	Res. líquido [€]	Acumulado [€]
0	-	-	0,00	32750,00	-32750,00	-32750,00
1	0,080	64320	5145,60	643,20	4502,40	-28247,60
2	0,082	64320	5248,51	643,20	4605,31	-23642,29
3	0,083	64320	5353,48	643,20	4710,28	-18932,01
4	0,085	64320	5460,55	643,20	4817,35	-14114,65
5	0,087	64320	5569,76	643,20	4926,56	-9188,09
6	0,088	64320	5681,16	643,20	5037,96	-4150,13

7	0,090	64320	5794,78	643,20	5151,58	1001,45
8	0,092	64320	5910,68	643,20	5267,48	6268,93
9	0,094	64320	6028,89	643,20	5385,69	11654,62
10	0,096	64320	6149,47	643,20	5506,27	17160,88
11	0,098	64320	6272,46	643,20	5629,26	22790,14
12	0,099	64320	6397,91	643,20	5754,71	28544,85
13	0,101	64320	6525,86	643,20	5882,66	34427,51
14	0,103	64320	6656,38	643,20	6013,18	40440,70
15	0,106	64320	6789,51	643,20	6146,31	46587,01
16	0,108	64320	6925,30	643,20	6282,10	52869,11
17	0,110	64320	7063,81	643,20	6420,61	59289,71
18	0,112	64320	7205,08	643,20	6561,88	65851,59
19	0,114	64320	7349,18	643,20	6705,98	72557,58
20	0,117	64320	7496,17	643,20	6852,97	79410,55

---

*Payback: 6,8   TIR: 15,32%*

### 6.3.3 ElectraTherm

A ElectraTherm é uma empresa norte-americana fabricante de equipamentos de produção de eletricidade através do ciclo de Rankine orgânico. Possui vários projetos espalhados pelo mundo aproveitando entre outras fontes: a energia geotérmica, a energia solar e o calor industrial desperdiçado.

A potência elétrica produzida pelos equipamentos desta empresa varia entre os 35 kW e os 110 kW.

#### 6.3.3.1 Soluções apresentadas

Esta empresa apresentou 3 soluções:

- Aproveitamento (no mesmo ciclo) das 3 fontes quentes (solução 1);
- Aproveitamento (no mesmo ciclo) dos condensados e dos gases de escape (solução 2);
- Aproveitamento dos gases de escape (solução 3).

Na tabela que se segue estão representadas as soluções sugeridas pela ElectraTherm.

Tabela 6.21 - Soluções apresentadas pela ElectraTherm

	Fontes quentes	Equipamento	Preço [€]	$\dot{W}_{liq}$ [kW]	Lucro médio [€/ano]	Red. em. CO <sub>2</sub> [tCO <sub>2</sub> /ano]
Solução 1	3 fontes	4400	167.869,00	54	37.900,00	204,1
Solução 2	Cond. e gases	4400	167.869,00	50	35.050,00	188,9
Solução 3	Gases escape	4400	167.869,00	42	29.450,00	158,7

### 6.3.3.2 Estudo económico

Os estudos económicos das várias soluções apresentadas pela ElectraTherm encontram-se nas seguintes tabelas.

Tabela 6.22 - Estudo económico relativo à solução 1 da ElectraTherm.

Ano	Preço ele. [€/kWh]	Produção [kWh]	Receitas [€]	Custos [€]	Res. líquido [€]	Acumulado [€]
0	-	-	0,00	167869,00	-167869,00	-167869,00
1	0,080	434160	34732,80	4341,60	30391,20	-137477,80
2	0,082	434160	35427,46	4341,60	31085,86	-106391,94
3	0,083	434160	36136,01	4341,60	31794,41	-74597,54
4	0,085	434160	36858,73	4341,60	32517,13	-42080,41
5	0,087	434160	37595,90	4341,60	33254,30	-8826,11
6	0,088	434160	38347,82	4341,60	34006,22	25180,10
7	0,090	434160	39114,77	4341,60	34773,17	59953,28
8	0,092	434160	39897,07	4341,60	35555,47	95508,75
9	0,094	434160	40695,01	4341,60	36353,41	131862,16
10	0,096	434160	41508,91	4341,60	37167,31	169029,47
11	0,098	434160	42339,09	4341,60	37997,49	207026,96
12	0,099	434160	43185,87	4341,60	38844,27	245871,23
13	0,101	434160	44049,59	4341,60	39707,99	285579,22
14	0,103	434160	44930,58	4341,60	40588,98	326168,20
15	0,106	434160	45829,19	4341,60	41487,59	367655,79
16	0,108	434160	46745,78	4341,60	42404,18	410059,97
17	0,110	434160	47680,69	4341,60	43339,09	453399,06
18	0,112	434160	48634,31	4341,60	44292,71	497691,76
19	0,114	434160	49606,99	4341,60	45265,39	542957,15
20	0,117	434160	50599,13	4341,60	46257,53	589214,69
<i>Payback: 5,2</i>						<i>TIR: 20,03%</i>

Tabela 6.23 - Estudo económico relativo à solução 2 da ElectraTherm.

Ano	Preço ele. [€/kWh]	Produção [kWh]	Receitas [€]	Custos [€]	Res. líquido [€]	Acumulado [€]
0	-	-	0,00	167869,00	167869,00	167869,00
1	0,080	402000	32160,00	4020,00	28140,00	139729,00
2	0,082	402000	32803,20	4020,00	28783,20	110945,80
3	0,083	402000	33459,26	4020,00	29439,26	-81506,54
4	0,085	402000	34128,45	4020,00	30108,45	-51398,09
5	0,087	402000	34811,02	4020,00	30791,02	-20607,07
6	0,088	402000	35507,24	4020,00	31487,24	10880,17
7	0,090	402000	36217,38	4020,00	32197,38	43077,55
8	0,092	402000	36941,73	4020,00	32921,73	75999,28
9	0,094	402000	37680,57	4020,00	33660,57	109659,85
10	0,096	402000	38434,18	4020,00	34414,18	144074,03
11	0,098	402000	39202,86	4020,00	35182,86	179256,89
12	0,099	402000	39986,92	4020,00	35966,92	215223,81
13	0,101	402000	40786,66	4020,00	36766,66	251990,46
14	0,103	402000	41602,39	4020,00	37582,39	289572,85
15	0,106	402000	42434,44	4020,00	38414,44	327987,29
16	0,108	402000	43283,13	4020,00	39263,13	367250,41
17	0,110	402000	44148,79	4020,00	40128,79	407379,20
18	0,112	402000	45031,76	4020,00	41011,76	448390,97
19	0,114	402000	45932,40	4020,00	41912,40	490303,37
20	0,117	402000	46851,05	4020,00	42831,05	533134,41
						<i>Payback: 5,6 TIR: 18,61%</i>

Tabela 6.24 - Estudo económico relativo à solução 3 da ElectraTherm.

Ano	Preço ele. [€/kWh]	Produção [kWh]	Receitas [€]	Custos [€]	Res. líquido [€]	Acumulado [€]
0	-	-	0,00	167869,00	-167869,00	-167869,00
1	0,080	337680	27014,40	3376,80	23637,60	-144231,40
2	0,082	337680	27554,69	3376,80	24177,89	-120053,51
3	0,083	337680	28105,78	3376,80	24728,98	-95324,53
4	0,085	337680	28667,90	3376,80	25291,10	-70033,43
5	0,087	337680	29241,26	3376,80	25864,46	-44168,98
6	0,088	337680	29826,08	3376,80	26449,28	-17719,70
7	0,090	337680	30422,60	3376,80	27045,80	9326,11



8	0,092	337680	31031,05	3376,80	27654,25	36980,36
9	0,094	337680	31651,68	3376,80	28274,88	65255,23
10	0,096	337680	32284,71	3376,80	28907,91	94163,14
11	0,098	337680	32930,40	3376,80	29553,60	123716,75
12	0,099	337680	33589,01	3376,80	30212,21	153928,96
13	0,101	337680	34260,79	3376,80	30883,99	184812,95
14	0,103	337680	34946,01	3376,80	31569,21	216382,15
15	0,106	337680	35644,93	3376,80	32268,13	248650,28
16	0,108	337680	36357,83	3376,80	32981,03	281631,31
17	0,110	337680	37084,98	3376,80	33708,18	315339,49
18	0,112	337680	37826,68	3376,80	34449,88	349789,37
19	0,114	337680	38583,22	3376,80	35206,42	384995,79
20	0,117	337680	39354,88	3376,80	35978,08	420973,87
<i>Payback: 6,6 TIR: 15,69%</i>						

### 6.3.4 Conclusões do contato com fabricantes

Através do contacto com fabricantes de máquinas baseadas no ciclo de Rankine orgânico foi possível concluir a possibilidade de gerar energia elétrica através de vários desperdícios térmicos da empresa. Constata-se que o trabalho líquido estimado teoricamente (diferença entre potência elétrica gerada e a potência consumida pelas bombas) é aproximadamente o mesmo que o sugerido pelos fabricantes.

No que diz respeito à utilização em simultâneo das 3 fontes quentes apenas a Rank e a ElectraTherm apresentaram soluções. Na Tabela 6.25 apresenta-se a comparação entre ambas.

Tabela 6.25 - Propostas relativas ao aproveitamento das 3 fontes quentes.

Aproveitamento das 3 fontes quentes						
Fabricante	Preço [€]	$\dot{W}_{liq}$ [kW]	Red. Em. CO <sub>2</sub> [tCO <sub>2</sub> /ano]	Lucro médio [€/ano]	<i>Payback</i> [anos]	TIR [%]
Rank	145.000,00	50	188,9	34.500,00	4,9	21,40
ElectraTherm	167.869,00	54	204,1	37.900,00	5,2	20,03

A ElectraTherm foi a única empresa que propôs uma solução em que eram aproveitados os gases de escape juntamente com a corrente de condensados limpos, Tabela 6.26.

Tabela 6.26 - Proposta relativa ao aproveitamento dos condensados "limpos" e dos gases de escape.

Aproveitamento condensados e gases esc.						
Fabricante	Preço [€]	$\dot{W}_{liq}$ [kW]	Red. em. CO <sub>2</sub> [tCO <sub>2</sub> /ano]	Lucro médio [€/ano]	<i>Payback</i> [anos]	TIR [%]
ElectraTherm	167.869,00	50	188,9	35.050,00	5,6	18,61

Todas as empresas apresentaram propostas do aproveitamento isolado dos gases de escape da cogeração, Tabela 6.27.

Tabela 6.27 - Proposta relativa ao aproveitamento dos gases de escape.

Aproveitamento dos gases escape						
Fabricante	Preço [€]	$\dot{W}_{liq}$ [kW]	Red. em. CO <sub>2</sub> [tCO <sub>2</sub> /ano]	Lucro médio [€/ano]	<i>Payback</i> [anos]	TIR [%]
Enogia	90.000,00	40	151,2	28.050,00	3,9	27,17
Rank	122.281,00	33	124,7	23.1250,00	6,2	16,91
ElectraTherm	167.869,00	42	158,7	29.450,00	6,6	15,69

A Enogia e a Rank também apresentaram soluções relativas ao aproveitamento exclusivo da corrente de condensados limpos, Tabela 6.28.

Tabela 6.28 - Proposta relativa ao aproveitamento da corrente de condensados limpos.

Aproveitamento dos condensados limpos						
Fabricante	Preço [€]	$\dot{W}_{liq}$ [kW]	Red. em. CO <sub>2</sub> [tCO <sub>2</sub> /ano]	Lucro médio [€/ano]	<i>Payback</i> [%]	TIR [€]
Enogia	35.000,00	10	37,8	7.010,00	5,9	17,88
Rank	32.750,00	8	30,2	5.700,00	6,8	15,32

Verifica-se então que a nível de indicadores económicos a proposta mais vantajosa é a da Enogia que utiliza como fonte quente unicamente os gases de escape tendo um tempo de *payback* de 3,9 anos e uma taxa interna de retorno de 27,17%. A solução mais favorável (tendo por base os parâmetros financeiros) da ElectraTherm é a que faz uso das 3 fontes quentes (*payback* 5,2 com TIR de

20,03%). A proposta da Rank com melhores indicadores é também a que aproveita as 3 fontes quentes (*payback* 4,9 com TIR 21,40%). A proposta que permite uma maior redução das emissões de CO<sub>2</sub> (devido à maior potência elétrica produzida) é a solução 1 da ElectraTherm com uma redução de 204,1 toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas por ano.

Esta é uma tecnologia recente e como tal o investimento inicial ainda é elevado. Porém é previsível que nos próximos 2-3 anos estes preços baixem consideravelmente.

Nesta fase do trabalho não se escolheu uma solução em concreto porque não havia ainda de parte da empresa uma inclinação definitiva sobre o que privilegiar na escolha, se os indicadores económicos, se total de energia elétrica produzida ou a minimização do impacto ambiental, de modo a que no presente estudo apenas se indicam os méritos relativos das propostas apresentadas pelos fabricantes.



Figura 6.21 - Equipamento ORC (Enogia).



# Capítulo 7

## O *chiller* de absorção

*Este capítulo estuda a viabilidade da aplicação de um chiller de absorção, utilizando como fonte quente os gases de escape da cogeração.*



## 7.1 Considerações gerais

Os *chillers* de absorção diferem dos convencionais de compressão devido ao efeito refrigerante ser conseguido com o recurso a energia térmica em vez de energia mecânica/elétrica (25). O primeiro equipamento de arrefecimento que utilizou a absorção foi desenvolvido por Edmond Carré (1833-1894), engenheiro francês, em 1850. Este equipamento utilizava água e ácido sulfúrico. Mais tarde Ferdinand Carré (1824-1900), irmão de Edmond, desenvolveu uma máquina que utilizava amónia e água. Ferdinand chegou mesmo a patentear a sua máquina em 1859 (26). Ao longo dos tempos a tecnologia tem evoluindo e as principais marcas começaram a apostar neste tipo de equipamentos. Atualmente o mercado dos *chillers* de absorção está bem desenvolvido e estável.

As principais vantagens deste tipo de *chillers* são:

- Consumo de energia elétrica bastante inferior ao *chillers* convencionais;
- Isenção de fluidos frigorígenos, não contribuindo para o aquecimento global e destruição da camada de ozono;
- O incómodo sonoro provocado por vibrações do compressor é anulado. Isto torna os sistemas atrativos para zonas residências, hotéis, escolas, etc;
- O facto de não existirem componentes móveis nem circuito de óleos faz com que os custos de manutenção sejam menores, havendo uma maior garantia dum serviço prolongado sem avarias.



Figura 7.1 - *Chiller* de absorção de simples efeito YORK (39).

### 7.1.1 Princípio de funcionamento

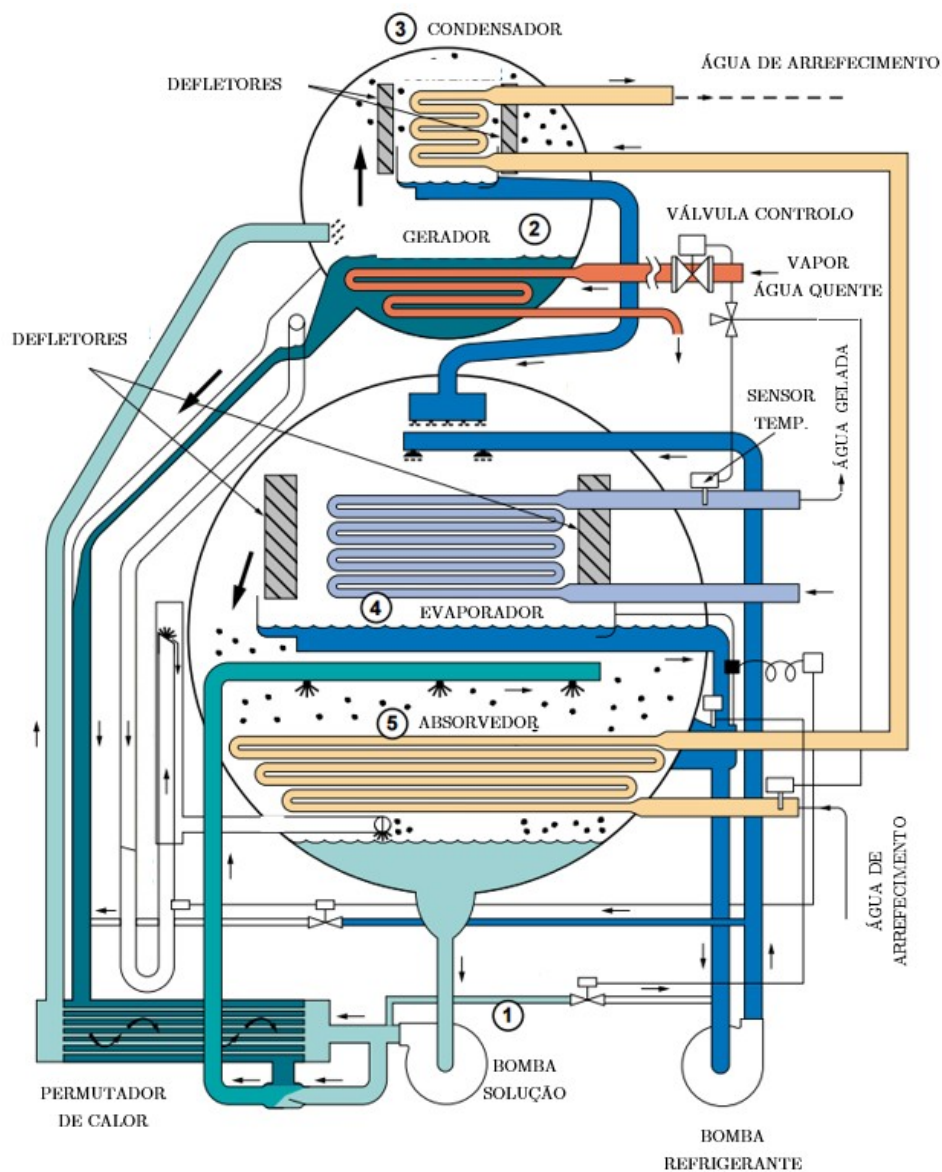


Figura 7.2 - *Chiller* de absorção de simples efeito, adaptado de (27).

Na Figura 7.2 está representado um esquema de funcionamento de um *chiller* de absorção de simples efeito, sendo visíveis os seus principais componentes: gerador, condensador, evaporador e absorvedor.

Este tipo de equipamentos utilizam um fluido refrigerante e um absorvente. Normalmente é utilizada uma solução de água-brometo de lítio dado a elevada afinidade entre estas duas substâncias. A solução diluída, recolhida abaixo do absorvedor, é bombeada (ponto 1 da figura) para o gerador passando por um permutador de calor onde sofre um pré-aquecimento. No gerador (ponto 2) a solução



entra em contacto com o calor da fonte externa (água quente ou vapor) vaporizando o refrigerante, ocorrendo a separação da mistura. Isto é possível devido ao facto dos pontos de ebulição do refrigerante e do absorvente serem diferentes. O refrigerante, na forma de vapor, segue para o condensador e a solução concentrada de absorvente é recolhida no absorvedor, passando antes pelo permutador de calor. No condensador (ponto 3) o vapor refrigerante retorna ao estado líquido sendo o calor removido através da água de arrefecimento do *chiller*. No evaporador (ponto 4) o refrigerante (no estado líquido) é pulverizado sobre os tubos onde circula a água a arrefecer. Esta troca calorífica faz com que o refrigerante vaporize. Dada a baixa pressão existente no evaporador o refrigerante entra em ebulição a uma baixa temperatura (4-7°C) (27). Este vácuo é conseguido por efeito higroscópico devido à extrema afinidade entre o refrigerante e o absorvente (que se misturam no absorvedor). No absorvedor (ponto 5) a solução concentrada de absorvente entra em contacto com o refrigerante (no estado de vapor), formando-se novamente a solução diluída. O calor resultante desta transformação é também removido através da água de arrefecimento do *chiller*. A solução diluída é recolhida no fundo do absorvedor e o ciclo repete-se.

O sistema opera a dois níveis de pressão distintos sendo maior na carcaça superior (condensador e gerador) e menor na inferior (evaporador e absorvedor) e a três níveis de temperatura: baixa no evaporador, intermédia no condensador e absorvedor e alta no gerador.

O desejo de ter uma maior eficiência nos *chillers* de absorção levou ao desenvolvimento de equipamentos de duplo efeito. Neste tipo existem 2 condensadores e 2 geradores permitindo um melhor aproveitamento do calor. O gerador de alta temperatura usa o calor fornecido externamente para vaporizar o refrigerante. O vapor refrigerante produzido neste gerador é utilizado no aquecimento da solução que se encontra no gerador de baixa temperatura, onde a pressão e o ponto de ebulição são menores. Estes sistemas usam queima-direta ou vapor a alta pressão como fonte quente. Atualmente estão em fase de desenvolvimento *chillers* de triplo efeito.

Neste tipo de equipamentos o EER, Energy Efficiency Ratio (ou COP, Coefficient of Performance) é dado pelo quociente entre a potência térmica de entrada e a potência de frio obtida. Normalmente a potência elétrica (das bombas de circulação) não entra neste cálculo pois é cerca de duas ordens de grandeza inferior às potências referidas anteriormente.

## 7.1.2 Aplicações

Nas secções seguintes serão apresentadas as aplicações mais comuns dos *chillers* de absorção.

### 7.1.2.1 Calor industrial

Os desperdícios térmicos industriais podem ser utilizados como fonte quente de alimentação de um *chiller* de absorção. Como exemplos destes desperdícios têm-se correntes de água quente, vapor residual e gases de escape de caldeiras e turbinas. A viabilidade da aplicação de uma instalação deste tipo depende em grande parte da temperatura e do caudal da fonte quente. Na figura que se segue está representada esquematicamente uma instalação onde os gases de escape são utilizados de forma a aquecer água de alimentação de um *chiller* de absorção.

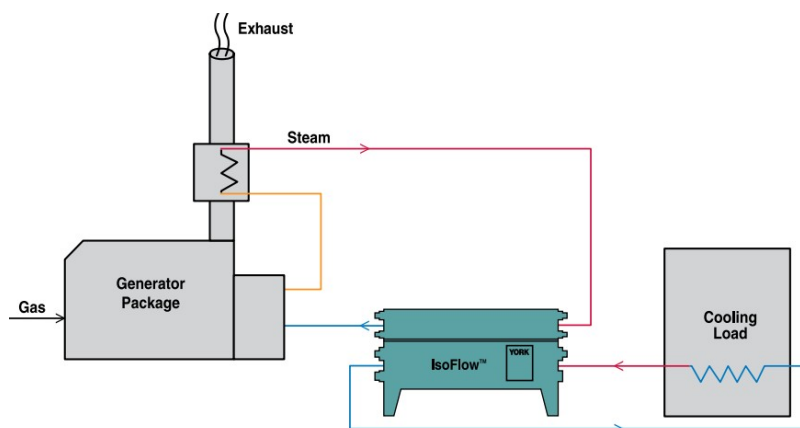


Figura 7.3 - Aplicação de um *chiller* de absorção com recurso a gases de escape (50).

### 7.1.2.2 Trigeração

Uma instalação de cogeração, que produza em simultâneo vapor e eletricidade, é bastante mais eficiente do que a produção destes em separado. Porém, existem situações em que as necessidades destes dois produtos não coincidem. Por exemplo pode estar a produzir-se eletricidade à carga máxima da turbina mas as necessidades de vapor não correspondem à produção máxima possível ocorrendo então perdas de energia térmica. Esta situação pode ser contornada recorrendo à trigeração (tendo a fábrica necessidades de frio para tal).

Chama-se trigeração à produção simultânea de eletricidade, vapor e frio. Sendo assim parte do vapor produzido vai para o processo e o restante serve de

alimentação a um *chiller* de absorção. Isto possibilita uma estabilidade na produção de vapor e um melhor aproveitamento dos recursos.

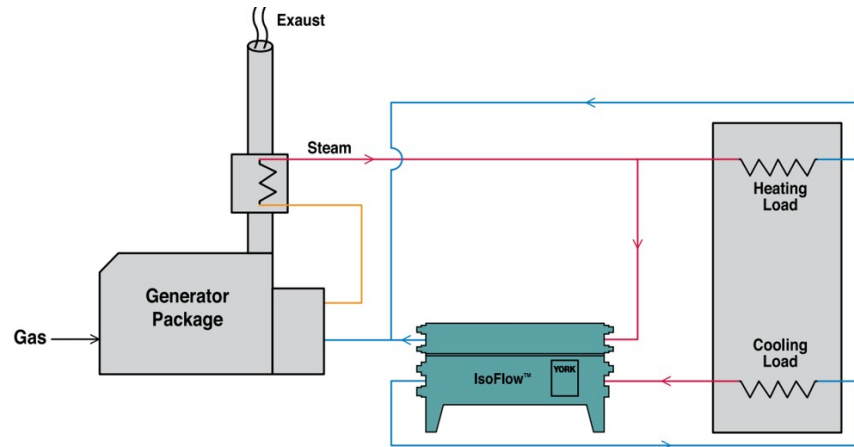


Figura 7.4 - *Chiller* de absorção num sistema de trigeração (50).

### 7.1.2.3 Energia solar

O facto da energia solar ser isenta de compostos como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , entre outros, torna-a uma fonte interessante para sistemas de aquecimento e de arrefecimento. Esta fonte renovável tem então potencial para fornecer a energia necessária à produção de água fria que um *chiller* de absorção necessita. Na figura em baixo está presente um instalação deste tipo.

A água de alimentação do *chiller* é aquecida através de coletores solares. Em seguida é armazenada num tanque de modo a obter-se um melhor controlo da potência térmica transferida ao equipamento. O sistema inclui ainda uma caldeira de recurso para o caso da energia solar não ser suficiente para satisfazer a produção pretendida.

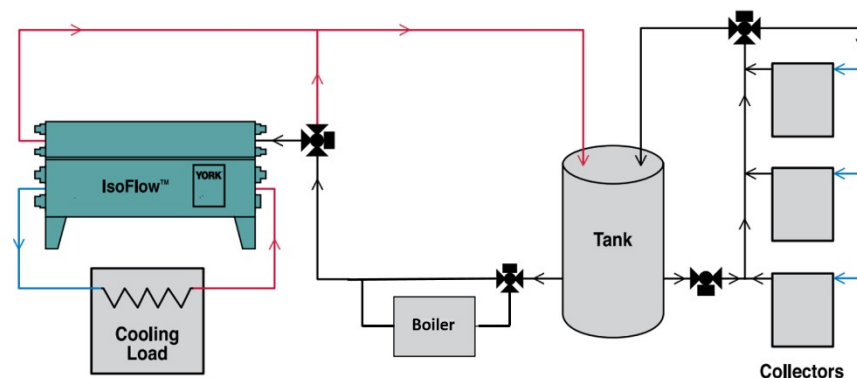


Figura 7.5 - Energia solar como fonte quente de um *chiller* de absorção (50).

### 7.1.2.4 Energia geotérmica

A energia geotérmica possibilita uma alternativa natural e amiga do ambiente às tradicionais formas de produzir vapor que recorrem aos combustíveis fósseis. Como já acontecia com o ciclo de Rankine orgânico, esta fonte de energia renovável pode ser utilizada de forma a alimentar um *chiller* de absorção.

Na figura seguinte está exemplificada uma instalação deste tipo. Neste caso, a energia geotérmica é utilizada para produzir vapor em que parte deste segue para uma turbina para geração de eletricidade e outra alimenta um *chiller* de absorção.

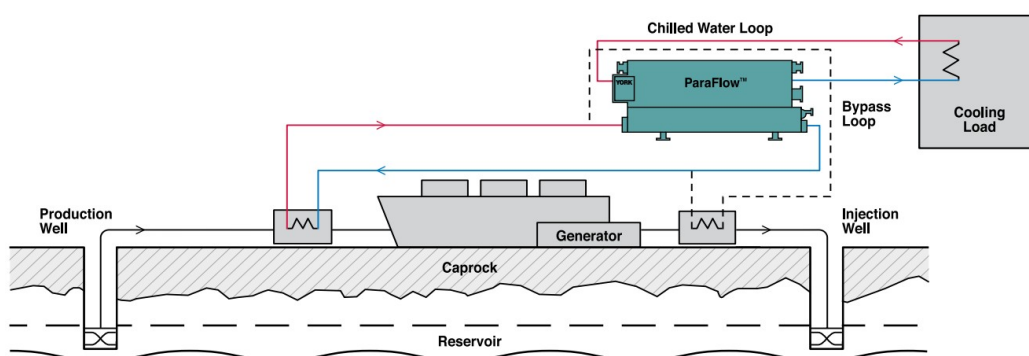


Figura 7.6 – Energia geotérmica como fonte quente de um *chiller* de absorção (50).

## 7.2 Contacto com fabricantes

Foram contactados fabricantes deste tipo de equipamentos com o intuito de utilizar os gases de escape da cogeração como fonte quente, tendo-lhes sido fornecido dados como o caudal, a temperatura e a composição estimada dos gases.

Segundo a YORK (by Johnson Controls) estes gases podem servir de alimentação a *chillers* de absorção com potências de frio entre 400 kW e 500 kW (algo intrinsecamente ligado à capacidade de extração de calor aos gases de escape).

Na Tabela 7.1 estão presentes as informações mais relevantes relativas aos equipamentos propostos por este fornecedor.

Tabela 7.1 - Potência de frio, elétrica e preço de *chillers* de absorção YORK.

Modelo	Potência nominal [kW]	Potência elétrica [kW]	Preço [€]
YIA 1A1	420	5,9	97.000,00
YIA 1A2	540	5,9	103.000,00

Na tabela seguinte encontram-se (para a mesma potência de frio dos *chillers* de absorção anteriormente apresentados) o consumo elétrico e o preço de *chillers* convencionais água-água. Estes dados foram solicitados à YORK para permitir uma comparação entre os 2 tipos de equipamentos (absorção versus convencionais).

Tabela 7.2 - Potência de frio, elétrica e preço de *chillers* convencionais YORK.

Modelo	Potência nominal [kW]	Potência elétrica [kW]	Preço [€]
YCWL 426	420	80,4	36.550,00
YCWL 532	540	98,7	45.100,00

Constata-se que os *chillers* de absorção são em média 2,5 vezes mais caros que os convencionais, porém necessitam apenas de 6% da energia elétrica gasta pelos equipamentos de compressão. Estas informações serão importantes para a secção onde é estudada a viabilidade de integração de um *chiller* de absorção na rede de água gelada das extrusoras.

Será sempre necessário um circuito de água, que permita a transferência de energia entre os gases de escape da cogeração e o *chiller* de absorção.

## 7.3 Estudo de integração na rede de água gelada da extrusão

### 7.3.1 Descrição do projeto

Neste momento está em fase de implementação um projeto que visa a criação de uma rede de água gelada na zona da extrusão (em vez de cada máquina ter o seu próprio *chiller*). Os equipamentos passarão então a estar ligados a um circuito comum de água gelada com derivações para os diferentes consumidores. Isto permite um aumento de eficiência global do sistema visto que só entrarão em funcionamento quando necessário, dando-se prioridade aos *chillers* com melhor performance.

A identificação e utilização dos equipamentos desta área da fábrica, antes da criação da rede, está descrita na tabela seguinte. A potência elétrica consumida foi calculada com base na potência térmica medida e no EER máximo dado pelo fornecedor (28).

Tabela 7.3 - Propriedades e dados de funcionamento dos *chillers* da extrusão antes da ligação em anel (28).

Extrusoras	Marca do <i>chiller</i>	Capacidade max [kW]	EER max [-]	Carga [%]	Pot. term. consum. [kW]	Pot. elet. consum. [kW]
Nº 1 e 2	LENNOX	338	4,3	55	185,9	43,1
Nº 3 e 4	Kelvi Plast	250	3,4	47	117,5	52,2
Nº5	McQuay	307	4,3	34	104,4	24,3
	$\Sigma$	895	-	-	407,8	119,6

Constata-se então que na zona da extrusão existe uma potência de frio total instalada de 895 kW sendo que as necessidades são apenas de 407,8 kW correspondendo a uma potência elétrica consumida de 119,6 kW.

Em seguida vai ser estudada a viabilidade da substituição destes equipamentos por um *chiller* de absorção.

### 7.3.2 Definição de parâmetros relevantes

O *chiller* de absorção terá inerente três circuitos de água distintos (ver figura seguinte):

- Circuito de água gelada – Responsável pelo fornecimento/recolha de água gelada aos tubos coletores presentes na zona da extrusão (consumidores);
- Circuito de água quente – Responsável pela transferência de calor entre os gases de escape da cogeração e o *chiller*;
- Circuito de dissipação de calor – Responsável pela dissipação de calor necessária ao bom funcionamento do equipamento. Serão feitas picagens no circuito de água industrial, tal como representado na figura. O circuito de água industrial da fábrica é arrefecido com recurso a torres de arrefecimento. Os *chillers* convencionais (alvos de comparação) também possuem um circuito deste género visto serem equipamentos do tipo água-água.

As temperaturas presentes nos circuitos da figura em baixo são baseadas em simulações fornecidas pela YORK (alvo de análise numa das próximas secções).

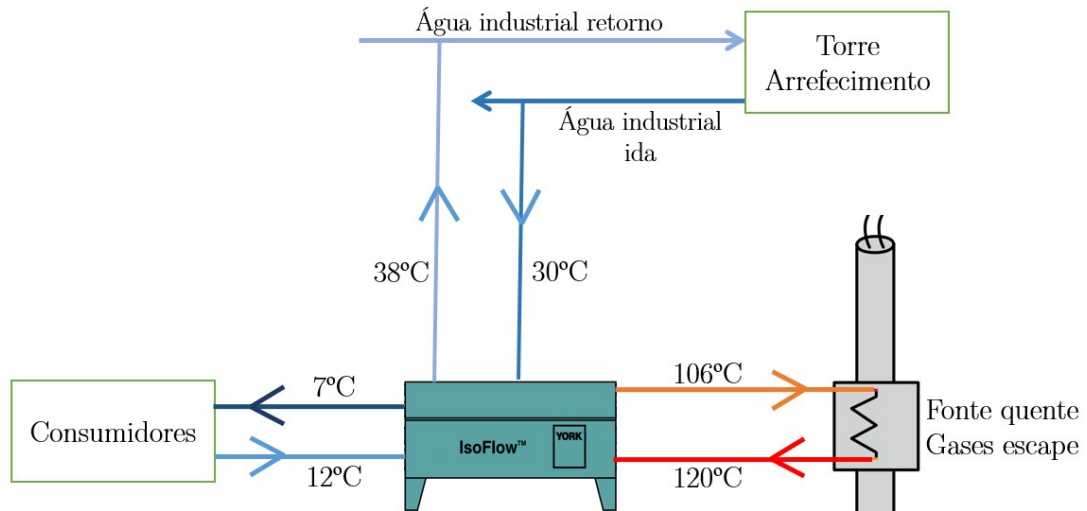


Figura 7.7 - Esquema representativo dos diferentes circuitos.

### 7.3.2.1 Seleção e características do *chiller* de absorção

O modelo de comparação será o *chiller* de absorção YORK YIA 1A1 cuja capacidade nominal de frio é de 420 kW. O consumo elétrico deste equipamento é praticamente independente da potência de frio solicitada tendo um valor aproximado de 5,9 kW. Segundo o fabricante este modelo tem um preço de 97.000,00€.

### 7.3.2.2 Custos de obra

O equipamento deverá ficar junto das caldeiras pelo que é necessário somar o custo da tubagem de ligação do *chiller* aos coletores de água gelada (presentes na zona da extrusão), os equipamentos de controlo, a mão-de-obra etc. De modo a ter-se uma primeira estimativa do custo de ligação o que se fez foi calcular o preço por metro de tubo da obra já em andamento e fazer uma relação com a tubagem adicional necessária. Sendo assim o preço total da obra em execução (onde se inclui tubagem, isolamento, válvulas, estruturas metálicas, bombas, etc) foi de 170.000€ tendo a tubagem um comprimento total de 584 metros (tubos coletores + tubos de ligação dos coletores às máquinas) o que dá um valor de 291 € por metro de tubo. A distância de tubo adicional necessária (ida e retorno) para ligar o *chiller* de absorção ao coletor é aproximadamente 210 metros. Posto isto, como primeira

estimativa do custo total da ligação (onde se inclui todo o tipo de gastos e não só o correspondente à tubagem) tem-se cerca de 61.110€.

### 7.3.2.3 Permutador de calor

Será necessário comprar um permutador de calor que permita a transferência de energia entre os gases de escape e a água de alimentação do *chiller*. Não foi possível obter um orçamento detalhado a tempo da entrega da presente dissertação, devendo-se ao fato de nenhuma das empresas contactadas ter um equipamento em catálogo que satisfizesse o pretendido. Muito provavelmente terá de ser projetado um equipamento à medida para esta aplicação. Sendo assim, foi solicitada, a uma destas empresas, uma estimativa do preço do permutador. Será considerado um valor de 40.000€ o que juntamente com o *chiller* e os restantes componentes já estimados (tubagem de ligação, bombas, etc) perfaz um investimento inicial de aproximadamente 200.000,00€.

### 7.3.2.4 Custos operacionais

O *chiller* de absorção comparativamente a um convencional necessita de dissipar mais calor. Este facto é facilmente observável quando se aplica a primeira lei da termodinâmica (ver figura seguinte, note-se que é uma análise simplista, apenas estão representados os balanços energéticos dos fluidos que atravessam o equipamento e a potência elétrica).

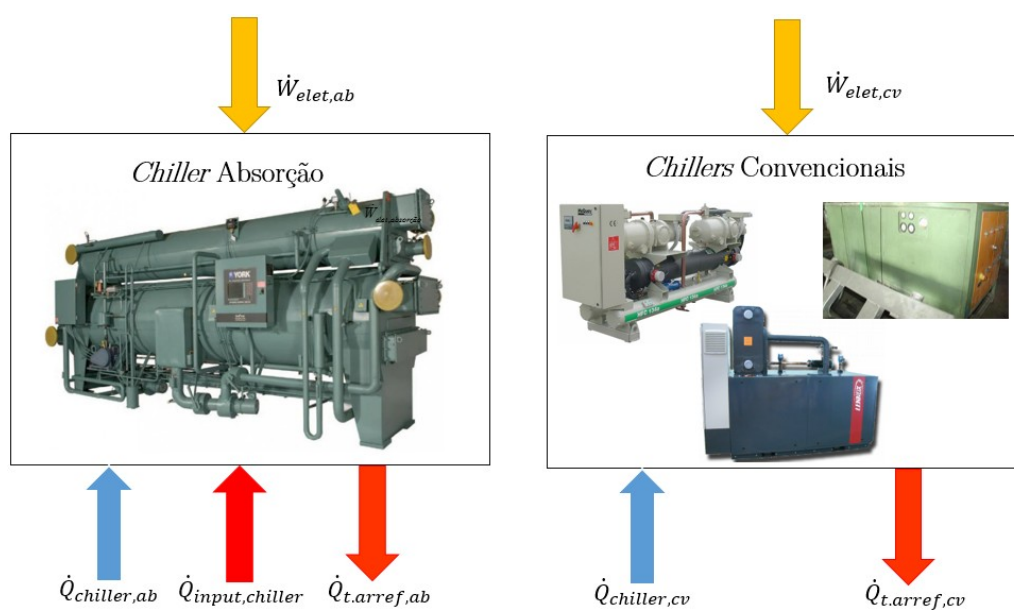


Figura 7.8 - Aplicação da Primeira Lei da Termodinâmica.



Aplicando a Primeira Lei da Termodinâmica ao *chiller* de absorção tem-se o seguinte balanço (considerando um EER de 0,7, análise simplista):

$$\dot{Q}_{t.arref,ab} = \dot{Q}_{chiller,ab} + \dot{Q}_{input,chiller} + \dot{W}_{elet,ab} \quad (7.1)$$

Substituindo pelos respectivos valores:

$$\dot{Q}_{t.arref,ab} = 407,8 + \frac{407,8}{0,7} + 5,9 = 996,3 \text{ kW} \quad (7.2)$$

A potência cedida pela fonte quente foi calculada através do quociente entre a potência de frio e o EER (COP).

Para o caso dos *chillers* convencionais tem-se:

$$\dot{Q}_{t.arref,cv} = \dot{Q}_{chiller,cv} + \dot{W}_{elet,ab} \quad (7.3)$$

$$\dot{Q}_{t.arref,cv} = 407,8 + 119,0 = 526,8 \text{ kW} \quad (7.4)$$

Constata-se então que as necessidades de arrefecimento do equipamento são substancialmente superiores no caso do *chiller* de absorção. Posto isto é necessário entrar na análise com a potência adicional de bombagem (no circuito de dissipação de calor do *chiller*) bem como o custo da água adicional de reposição na torre de arrefecimento (circuito aberto).

Considerando que o diferencial de temperatura neste circuito é, em média, 8°C, os caudais estimados para cada situação vêm:

$$\dot{m}_{t.arref} = \frac{\dot{Q}_{t.arref}}{c_{agua} \cdot \Delta T_{t.arref}} \quad (7.5)$$

$$\dot{m}_{t.arref,ab} = \frac{996,3}{4,18 \cdot 8} = 29,8 \text{ kg/s} \quad (7.6)$$

$$\dot{m}_{t.arref,cv} = \frac{526,8}{4,18 \cdot 8} = 15,7 \text{ kg/s} \quad (7.7)$$

Note-se que estes caudais são referentes unicamente aos *chillers* em análise. O caudal total que passa na torre é superior visto haver mais consumidores de água industrial.

O aumento de caudal necessário (no circuito de dissipação de calor) é então:

$$\Delta \dot{m}_{t.arref} = 29,8 - 15,7 = 14,1 \text{ kg/s} \quad (7.8)$$

A potência elétrica de uma bomba pode ser estimada através da seguinte equação (29):

$$\dot{W}_{el,bomba} = \frac{\dot{m} \cdot \Delta P}{\rho_{agua} \cdot \eta_{bomba}} = \frac{\dot{m} \cdot g \cdot h_{bomba}}{\eta_{bomba}} \quad (7.9)$$

A potência elétrica (W) é então diretamente proporcional ao caudal a circular (kg/s), à aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>) e à altura manométrica (m) e inversamente proporcional ao seu rendimento.

Sendo assim a potência elétrica adicional de bombagem necessária aquando da substituição dos três *chillers* convencionais pelo de absorção é (relativa ao circuito de dissipação de calor do equipamento, circuito da torre de arrefecimento):

$$\dot{W}_{el,tarref,adical} = \frac{14,1 \cdot 9,8 \cdot 30}{0,7} = 5,9 \text{ kW} \quad (7.10)$$

A bomba possui uma altura manométrica de 30 metros (*setpoint*) e considerou-se um rendimento de 70%. Na análise financeira será então necessário entrar em consideração com esta diferença.

O aumento de caudal a circular no circuito de dissipação de calor do *chiller* faz com que seja necessária mais água de reposição (devido à evaporação nas torres de arrefecimento), o que acarreta custos. Segundo dados anteriormente registados o valor do caudal de reposição é aproximadamente 1% do total a circular. O que corresponde a um aumento do caudal de água de reposição de 0,14 kg/s. O preço da água considerado será 1 €/m<sup>3</sup> (baseado em dados da empresa).

Outro aspeto a ter em consideração é a potência de bombagem necessária no circuito de água quente do sistema. Isto é, no circuito que permite a transferência do calor cedido pelos gases de escape para o *chiller* de absorção. Segundo as simulações disponibilizadas pela YORK (apresentadas no ponto seguinte e presentes em pormenor nos anexos) o caudal médio desta corrente é 7,5 kg/s existindo uma perda de carga média no *chiller* (permutador+válvulas) de 83 kPa. Será considerada uma perda de carga total no circuito de 200 kPa (permutador *chiller*, permutador gases, válvulas, perdas em linha). De referir que as perdas de carga em linha serão mínimas visto que o *chiller* deve estar o mais próximo possível da fonte quente (gases de escape).

Considerando um rendimento de 70% e aplicando a equação 7.9 a potência elétrica estimada para este sistema de bombagem é:

$$\dot{W}_{el,agua.quente} = \frac{7,5 \cdot 200000}{948 \cdot 0,7} \approx 2,3 \text{ kW} \quad (7.11)$$

(A massa volúmica da água foi obtida recorrendo ao software EES).

Esta potência entrará na análise financeira juntamente com a potência elétrica do *chiller* e a potência de bombagem adicional necessária no circuito de arrefecimento do equipamento (torre).

### 7.3.3 Simulações do fornecedor

Foi solicitado à YORK simulações de desempenho do *chiller* de absorção YIA 1A1 para a potência de frio desejada, ou seja, 408 kW. Requereu-se resultados para duas temperaturas distintas de entrada da água quente no *chiller*: 120°C e 130°C. As simulações nestas gamas de temperaturas podem ser úteis aquando da escolha ou dimensionamento do permutador de calor dos gases de escape. Os resultados destas simulações estão presentes em anexo porém, na tabela seguinte encontram-se os mais dados relevantes. Em anexo está também presente uma simulação para a potência de referência do equipamento (420 kW).

Tabela 7.4 - Resultados das simulações pedidas à YORK.

	Temperatura entrada	
	água quente	
	120°C	130°C
Pot. frio [kW]	408	408
Caudal água gelada [l/s]	19,52	19,52
Temperaturas circuito gelado [°C]	7-12	7-12
Caudal torre arref [l/s]	27,00	27,00
Temperaturas circuito torres [°C]	38,9-30,0	38,9-30,0
Caudal água quente [l/s]	10,24	5,72
Temp. saída água quente [°C]	105,7	104,3
EER (COP)	0,696	0,700

Verifica-se que o caudal do circuito de dissipação de calor do *chiller* (torre de arrefecimento) é aproximadamente igual ao que tinha sido estimado através da aplicação da Primeira Lei da Termodinâmica.

O EER é sensivelmente igual nos dois casos e como a potência de frio produzida é exatamente a mesma, a potência térmica de entrada é aproximadamente igual em ambas as simulações. Posto isto, vai ser feita uma estimativa da temperatura de saída dos gases de escape, após a permuta com a água.

A potência térmica de entrada no *chiller* tem o valor de:

$$\dot{Q}_{input,chiller} = \dot{m}_{agua,quente} \cdot c_{agua} \cdot \Delta T_{agua,quente} \quad (7.12)$$

$$\dot{Q}_{input,chiller} = \frac{10,24 \cdot 948}{1000} \cdot 4,24 \cdot (120,0 - 105,7) = 588,6 \text{ kW} \quad (7.13)$$

(os valores da massa volúmica e calor específico da água foram obtidos recorrendo ao software EES)

Admitindo que a tubagem está bem isolada e desprezando o trabalho da bomba de circulação (a ordem de grandeza desta é cerca de duas vezes inferior às restantes potências em jogo), a potência térmica que a água quente transmite ao *chiller* é aproximadamente a mesma que os gases de escape cedem à água quente. Logo, a temperatura de saída dos gases é facilmente estimada através da seguinte equação.

$$588,6 = 18,2 \cdot 1,07 \cdot (150 - T_{gases,saida}) \Leftrightarrow T_{gases,saida} \approx 120^{\circ}\text{C} \quad (7.14)$$

A temperatura de saída dos gases do permutador água-gases é então aproximadamente 120°C. O calor específico dos gases de escape foi calculado (recorrendo aos software EES) considerando as frações mássicas obtidas aquando da análise à combustão (capítulo 5).

Na próxima secção será feita a análise financeira para verificar a viabilidade da substituição dos 3 *chillers* presentes na zona da extrusão por um *chiller* de absorção que utiliza como fonte quente os gases de escape da cogeração

A ligação dos *chillers* convencionais em anel permite que só estejam a trabalhar os equipamentos necessários para satisfazer as necessidades, dando-se prioridade aos com melhor EER, poupando-se eletricidade. Posto isto, será comparado o consumo elétrico do *chiller* de absorção com a combinação dos *chillers* mais eficientes existentes atualmente (listados na Tabela 7.3). Sendo assim, a potência elétrica de comparação dos *chillers* convencionais não serão os 119,6 kW (isto era a potência total quando não estavam ligados em anel) mas sim  $408/4,3=95$  kW.

### 7.3.4 Análise financeira e ambiental

A substituição dos *chillers* convencionais pelo equipamento de absorção permite uma redução anual de emissões de CO<sub>2</sub> de aproximadamente (calculada com base na diferença dos consumos elétricos anuais das duas situações):

$$R_{CO_2} = (C_{convencional} - C_{absorcao}) \cdot f_{kwh-kgCO_2} \quad (7.15)$$

$$R_{CO_2} = (763800 - 113364) \cdot 0,47 \approx 306 \text{ tCO}_2/\text{ano} \quad (7.16)$$

No que diz respeito ao estudo económico o que se fez foi comparar os consumos elétricos de um *chiller* de absorção com os consumos do conjunto dos 3 *chillers* convencionais (utilizando os mais eficientes). Tal como no capítulo anterior foi considerada uma atualização do preço de eletricidade de 2% ao ano. A diferença entre os custos elétricos anuais dos dois tipos de máquinas é considerada como sendo o *cash-flow* deste estudo económico (entra também neste campo a diferença de custos inerente à reposição de água nas torres de arrefecimento). Considerou-se esta análise como sendo uma substituição de equipamentos (*chillers* convencionais pelo de absorção) pelo que o investimento inicial relativo aos *chillers* convencionais é nulo. Segundo a YORK, o custo de manutenção do *chiller* de absorção é ligeiramente inferior aos dos *chillers* convencionais, mas não significativamente pelo que esta parcela não irá entrar na análise comparativa.

Como dados iniciais da análise financeira tem-se:

- Preço *chiller* absorção: 97.000,00 €;
- Potência elétrica *chiller* absorção: 5,9 kW;
- Potência de bombagem adicional (circuito torres arrefecimento): 5,9 kW;
- Potência de bombagem circuito agua quente: 2,3 kW;
- Custo de obra e equipamentos adicionais: 61.110,00 €;
- Preço permutador gases-água: 40.000,00€;
- Preço da água: 1 €/m<sup>3</sup> (reposição torres);
- Preço eletricidade: 0,08 €/kWh;
- Taxa atualização preço eletricidade: 2%/ano;
- Potência elétrica *chillers* convencionais: 95 kW (supondo utilização dos equipamentos com melhor eficiência);
- Horas de funcionamento: 8040 horas/ano.

Tabela 7.5 - Análise financeira *chiller* absorção.

Ano	Preço ele. [€/kWh]	Custo abs. [€]	Custo cv. [€]	Dif. custos [€]	Acumulado [€]
0	-	198110,00	0,00	-198110,00	-198110,00
1	0,080	13331,61	62326,08	48994,47	-149115,53
2	0,082	13516,62	63572,60	50055,99	-99059,54
3	0,083	13705,33	64844,05	51138,73	-47920,81
4	0,085	13897,81	66140,93	52243,12	4322,31
5	0,087	14094,15	67463,75	53369,61	57691,92
6	0,088	14294,41	68813,03	54518,62	112210,54
7	0,090	14498,67	70189,29	55690,62	167901,16
8	0,092	14707,02	71593,07	56886,05	224787,21
9	0,094	14919,54	73024,94	58105,39	282892,60
10	0,096	15136,31	74485,44	59349,12	342241,73
11	0,098	15357,41	75975,14	60617,73	402859,46
12	0,099	15582,94	77494,65	61911,71	464771,16
13	0,101	15812,98	79044,54	63231,56	528002,72
14	0,103	16047,62	80625,43	64577,82	592580,54
15	0,106	16286,95	82237,94	65950,99	658531,53
16	0,108	16531,06	83882,70	67351,64	725883,17
17	0,110	16780,06	85560,35	68780,29	794663,46
18	0,112	17034,04	87271,56	70237,52	864900,98
19	0,114	17293,10	89016,99	71723,89	936624,87
20	0,117	17557,34	90797,33	73239,99	1009864,86
<i>Payback: 3,9</i>					<i>TIR: 26,54%</i>

O tempo de *payback* deste investimento é de 3,9 anos tendo a taxa interna de retorno um valor de 27%. Esta solução permite uma poupança média anual superior a 60.000,00€.

Com esta medida evita-se a emissão para a atmosfera de mais de trezentas toneladas de CO<sub>2</sub> por ano, o que juntamente com a poupança média anual, a baixa manutenção e elevada fiabilidade torna este investimento bastante apelativo.

# Capítulo 8

## O ar comprimido

*Neste capítulo estão presentes um conjunto de sugestões que permitem um aumento da eficiência nos sistemas de ar comprimido.*





## 8.1 Considerações gerais

O ar comprimido é uma utilidade bastante usada nos equipamentos e respetivos processos das mais diversificadas indústrias, obrigando a sua obtenção a consumos de energia elevados. Embora não sendo gratuito, devido à abundância da matéria-prima (ar), é muitas vezes tratado como tal (30), esquecendo-se os utilizadores dos elevados custos inerentes à produção e distribuição deste bem ao longo das instalações fabris. Este facto leva normalmente ao desprezo de medidas de poupança neste tipo de sistemas.

Os sistemas de ar comprimido são responsáveis pelo consumo de cerca de 10% da energia total gasta a nível industrial em todo o mundo (31). Isto é justificado pelo facto de serem muito pouco eficientes, apenas de cerca 20% da energia é realmente utilizada (31). Duas das principais razões para este facto residem no sobredimensionamento dos compressores e no facto dos seus sistemas de controlo serem, por norma, ineficientes.

Na figura seguinte está presente a distribuição dos custos médios anuais ao longo do tempo de vida um compressor.

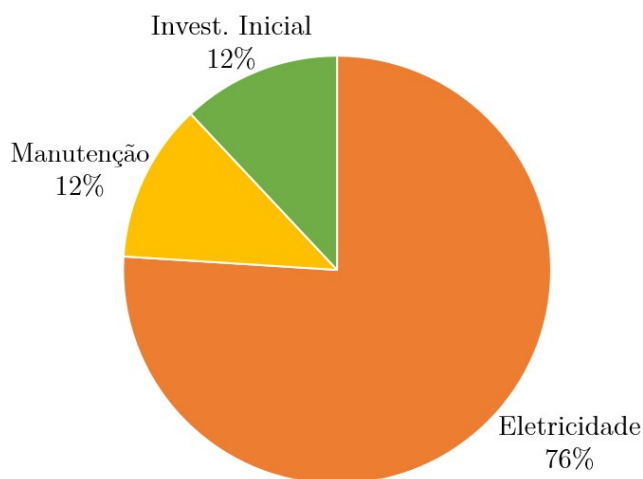


Figura 8.1 - Distribuição dos custos durante o tempo de vida de um compressor, adaptado de (30).

Como se constata cerca de 76% dos custos são respeitantes à energia elétrica. Como tal um pequeno aumento de eficiência do sistema pode corresponder a uma poupança considerável. No ato da compra deve-se optar por uma análise do desempenho a longo prazo, não focando exclusivamente o investimento inicial.

Em seguida serão apresentadas algumas sugestões de poupança. Posteriormente será quantificada a poupança resultante da aplicação de algumas delas à Continental-Mabor.

## 8.1.1 Sugestões de poupança

### 8.1.1.1 Fugas

As fugas de ar são uma das principais razões da baixa eficiência característica dos sistemas de ar comprimido. Estima-se que cerca de 10 a 30% da produção de ar comprimido a nível industrial resulte em fugas (30). Em adição ao maior consumo de energia, as fugas contribuem também para outros desperdícios. Existe uma estreita relação de causa-efeito entre o número de fugas e a pressão global disponível nos consumidores (tornando os equipamentos menos eficientes). Isto pode afetar a produção levando também a um aumento dos custos de manutenção (32). Um programa contínuo de monitorização/reparação de fugas permite uma poupança de energia de aproximadamente 15% (31).

As fugas de ar são difíceis de identificar devido ao ruído presente quando as fábricas estão em laboração e à transparência do ar. A utilização de detetores ultrassónicos pode ser uma grande ajuda, estes aparelhos conseguem reconhecer sons de alta frequência normalmente associados às fugas. Estas ocorrem habitualmente em articulações, flanges, cotovelos, válvulas e em todos os outros componentes responsáveis pela introdução de perdas de carga localizada pelo que a monitorização deve incidir em especial nestes locais.

Quando as fugas forem detetadas e corrigidas o sistema de controlo do compressor deve ser ajustado de modo a maximizar a poupança de energia.



Figura 8.2 - Os aparelhos ultrassónicos são considerados dos melhores detetores de fugas de ar que existem (40).

### 8.1.1.2 Redução de pressão

Quando a pressão produzida é superior à necessária pelos equipamentos grandes quantidade de ar são expelidas desnecessariamente, resultando em desperdícios (além do trabalho de compressão aumentar com a pressão de serviço).

É importante, do ponto de vista da eficiência energética, que a pressão de serviço dos compressores esteja sintonizada com a pressão mínima necessária pelos equipamentos (tendo em conta também as respectivas perdas de carga). Segundo a literatura por cada 13kPa (0,13bar) de redução de pressão no compressor os respectivos consumos energéticos diminuem, em média, 1% (31).

### 8.1.1.3 Uso do ar exterior

O ar junto aos compressores é normalmente mais quente que o ar exterior. Isto deve-se ao simples fato de estes equipamentos terem a necessidade de libertar grandes quantidades de calor e o local onde eles se encontram não ser habitualmente climatizado. Com base na lei dos gases perfeitos o ar mais quente é menos denso, mantendo a pressão constante (18). O ar mais quente está então mais expandido sendo necessário um trabalho superior por parte do equipamento para o comprimir. Fazendo a captação de ar exterior, geralmente mais frio (e denso), a energia gasta pelo compressor é menor, aumentando a eficiência global do sistema.

A redução percentual do trabalho de compressão obtida pela diminuição da temperatura do ar à entrada do compressor é dada pela seguinte relação (32):

$$R_w = \frac{W_{in} - W_{ext}}{W_{in}} \times 100 \quad (8.1)$$

O trabalho necessário à compressão do ar é diretamente proporcional à temperatura pelo que a razão anterior pode ser aproximadamente descrita por (31):

$$R_w \approx \frac{T_{in} - T_{ext}}{T_{in} + 273,15} \times 100 \quad (8.2)$$

onde  $T_{in}$  [°C] é a temperatura do ar interior junto ao compressor e  $T_{ext}$  [°C] a temperatura do ar exterior. Tem-se então uma relação entre a diferença de temperaturas interior e exterior do ar e a respetiva redução dos consumos energéticos.

#### 8.1.1.4 Aproveitamento do calor libertado

Aproximadamente 80% da energia elétrica usada pelos compressores é convertida em calor. Existem aplicações que conseguem recuperar cerca de 60-80% desta energia térmica desperdiçada possibilitando o aquecimento do ar ambiente ou de água. (30). O ar, a água, ou qualquer outro fluido que se considere conveniente, pode ser aquecido através da aplicação de um permutador no sistema de arrefecimento do compressor ou no circuito de arrefecimento do óleo lubrificante. Outra alternativa, permitindo o aquecimento ambiente, é a recolha do ar quente de ventilação do compressor. Na figura seguinte está representada uma solução deste género. O ar quente do compressor é direcionado para uma conduta aquecendo os espaços adjacentes. No Verão, através da atuação no registo, o ar é encaminhado para o exterior.

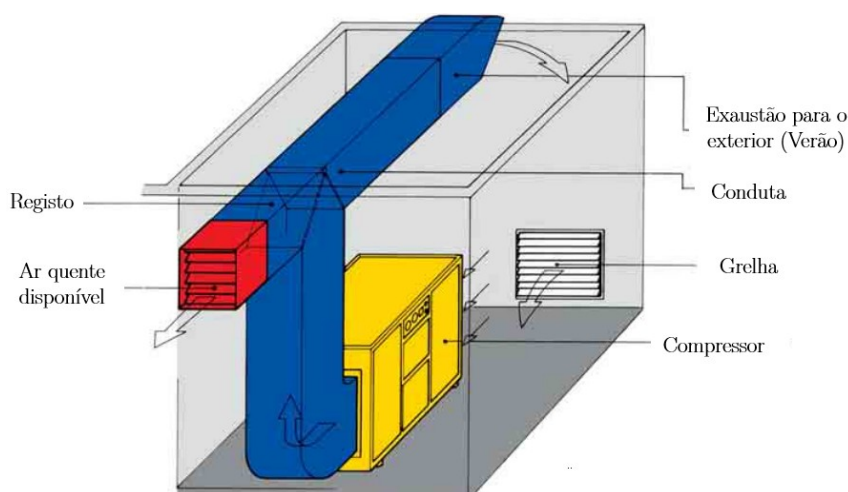


Figura 8.3 - Aquecimento de ar com recurso ao calor libertado pelo compressor, adaptado de (45).

#### 8.1.1.5 Uso de compressores eficientes

Muitos compressores são projetados para funcionarem sempre à carga máxima, porém isso raramente se verifica. Como resultado desta situação existem longos períodos de tempo em que o compressor não funciona à eficiência desejada. Isto pode ser melhorado variando a capacidade dos compressores de acordo com as necessidades do momento. O método mais comum é através da modulação. O uso de variadores de frequência na alimentação elétrica dos compressores (VSD – variable speed drivers) proporciona um controlo contínuo fazendo uma ligação entre a velocidade de rotação do motor e as necessidades de produção de ar comprimido

(31). Na escolha de um compressor deve então ter-se em consideração as necessidades reais dos consumidores evitando-se um excessivo sobredimensionamento, atendendo ainda ao seu sistema de controlo.

#### 8.1.1.6 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva deve fazer parte de qualquer tipo de equipamento a nível industrial. Dada a ineficiência de máquinas como os compressores este é um ponto essencial de modo a obter-se uma boa gestão do equipamento ao longo do seu tempo de vida útil.

De entre as várias ações que devem ser incluídas num plano de manutenção preventiva de compressores pode destacar-se:

- Recolha e análise regular de dados como pressões, caudais, temperaturas e consumos elétricos;
- Limpeza dos diversos permutadores de calor;
- Verificação do estado do lubrificante;
- Verificação do estado da água de refrigeração;
- Verificação do estado dos diferentes ventiladores e bombas (circuito de água e óleo);
- Verificação dos diferentes filtros do sistema;
- Verificação os sistemas de purga;
- Teste dos mecanismos de segurança.

## 8.2 Medidas de poupança analisadas

De entre as diferentes medidas apresentadas na secção anterior aquelas mais facilmente quantificáveis à fábrica em estudo são a redução de pressão e a captação de ar exterior.

Como já foi referido, na Continental-Mabor existe produção de ar comprimido a duas pressões diferentes. O ar de alta, normalmente a 10 bar(r) e o de baixa 6 bar(r). Os consumos de ar comprimido relativos ao ano de 2014 encontram-se representados na Tabela 8.1. Constata-se que cerca de 84% dos custos dizem respeito à produção de ar de baixa pressão. Numa perspetiva global, o ar comprimido é responsável por cerca de 11% dos consumos elétricos da fábrica.

Tabela 8.1 - Dados relativos aos compressores durante o ano de 2014 (15).

	Produção [m <sup>3</sup> , 0°C 1atm]	Consumo [kWh]	Custo [€]
Alta pressão	139883940	13661890	1.092.951,20
Baixa pressão	17483930	2561857	204.949,00
Total	157367870	16223747	1.297.899,76

## 8.2.1 A redução da pressão

Como referido anteriormente por cada 13 kPa (0,13 bar) de redução de pressão o consumo elétrico dos compressores é reduzido em cerca de 1%. Com base nesta referência e na Tabela 8.1 é apresentada seguidamente a poupança obtida em função da redução de pressão dos compressores. A redução das emissões de dióxido de carbono foram calculadas através do fator de conversão 0,47 kgCO<sub>2</sub>/kWh (22).

Tabela 8.2 - Poupança obtida através da redução de pressão dos compressores.

Redução de pressão [bar]	Redução de consumo [kWh]	Red. emissões CO <sub>2</sub> [tCO <sub>2</sub> /ano]	Poupança [€]
-0,1	124922	58,7	9.993,83
-0,3	374768	176,1	29.981,50
-0,5	624612	293,6	49.969,10
-1,0	1247606	586,4	99.808,50

Conclui-se então que uma redução de pressão de 1 bar em relação ao valor médio utilizado no ano de 2014 permite uma poupança de aproximadamente cem mil euros, correspondendo a uma redução de emissões de aproximadamente 584 toneladas de dióxido de carbono por ano. Os cálculos foram realizados considerando esta redução de pressão tanto no ar de alta como no de baixa pressão.

## 8.2.2 A captação de ar exterior

Tal como justificado anteriormente, a captação de ar exterior, mais frio e denso, em vez do ar interior, mais quente e menos denso, permite uma redução do trabalho de compressão. Esta redução é dada através da equação 8.2. É então necessário ter-se uma estimativa da diferença de temperatura média entre o exterior e o interior junto à sucção dos compressores. Durante 15 dias, não seguidos e a

horas distintas, foram realizadas medições de temperatura ao ar de aspiração de um dos compressores de alta pressão (Kaeser) e ao ar exterior.

Tabela 8.3 - Diferença entre as temperaturas de insuflação de um compressor de alta pressão e o exterior.

Dia	T <sub>in</sub> [°C]	T <sub>ext</sub> [°C]	Diferença [°C]
1	25	16	9
2	22	10	12
3	20	12	8
4	23	13	10
5	22	14	8
6	23	16	7
7	33	27	6
8	24	19	5
9	31	25	6
10	33	26	7
11	25	20	5
12	26	17	9
13	25	19	6
14	37	33	4
15	39	34	5
Média: 7°C			

Obteve-se então em média uma diferença de temperaturas de 7°C. De notar que estas medições foram realizadas junto à sucção de ar por parte do compressor e não à temperatura ambiente geral da sala. Junto ao compressor, dadas as cargas térmicas que este tipo de equipamentos acarretam, a temperatura é ligeiramente superior à ambiente da sala e é a esta temperatura que o ar é aspirado. Usando então a equação 8.2 e considerando uma temperatura média exterior de 15°C obtém-se a respetiva razão de redução do trabalho do compressor:

$$R_w \approx \frac{7}{15 + 273,15} \times 100 \approx 2,4\% \quad (8.3)$$

Aplicando esta razão aos custos de utilização dos compressores no ano de 2014 obtém-se uma estimativa da poupança anual:

$$S_{compressores} = \frac{2,4}{100} \cdot 1297899,76 \approx 31.149,59€ \quad (8.4)$$

Constata-se então que esta medida permite uma poupança de cerca de trinta mil euros por ano. Os cálculos foram efetuados utilizando os dados relativos a 2014, se a produção de ar comprimido aumentar a poupança anual também aumentará.

A alimentação dos compressores com ar exterior, mais frio e denso, permite uma redução de emissões de CO<sub>2</sub> de aproximadamente (valor obtido com base na redução estimada para o consumo dos compressores e no fator de conversão apresentado anteriormente):

$$R_{CO_2} = 16223747 \cdot \frac{2,4}{100} \cdot 0,47 \approx 183 \text{ tCO}_2 / \text{ano} \quad (8.5)$$

O local ideal para a captação do ar exterior seria numa fachada virada a Norte. Isto permitiria uma redução dos ganhos solares minimizando o aquecimento da conduta de recolha do ar do exterior.

Na altura de execução do projeto deve ter-se cuidado na escolha do diâmetro da conduta, de modo a não introduzir-se perdas de carga prejudiciais ao bom funcionamento do equipamento.



# Capítulo 9

## Aproveitamento

## energético de reduções

## de pressão

*Neste capítulo é debatida a hipótese da substituição das válvulas redutoras de pressão da linha de vapor por turbinas de contrapressão ou máquinas alternativas de modo a produzir eletricidade.*



## 9.1 Considerações gerais

Muitas fábricas das mais variadas indústrias produzem vapor a uma pressão superior à necessária de alguns processos. Parte do vapor passa então através de válvulas redutoras de pressão (VRP), existentes na rede, sendo a pressão reduzida até ao valor pretendido pelo processo tecnológico em causa. Uma turbina de contrapressão, ou outro equipamento equivalente, permite a mesma redução possibilitando a produção em simultâneo de energia elétrica mantendo o vapor, à saída da turbina, uma boa qualidade (título) (33).

A introdução de sistemas de expansão com aproveitamento energético em paralelo com as válvulas redutoras de pressão deve ser estudada quando as caldeiras trabalham a pressões na ordem dos 10 bar(r) ou superiores (33), sendo necessário garantir um caudal mínimo de funcionamento.

A instalação deste tipo de equipamentos permite aumentar o rendimento global da instalação trazendo vantagens não só económicas como também ambientais.

## 9.2 Situação atual da Continental

Atualmente o vapor sai das caldeiras e é direcionado para um coletor geral presente no canal da fábrica. Desse coletor são feitas várias picagens sendo a pressão do vapor reduzida com o recurso a válvulas redutoras de pressão. A figura seguinte ilustra de uma maneira bastante simplista esta situação.

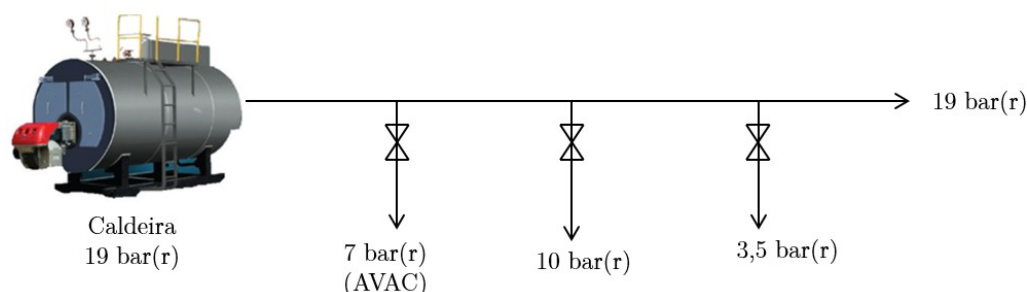


Figura 9.1 - Esquema representativo da rede de vapor entre a caldeira e as válvulas redutoras de pressão.

A linha de 7 bar(r) é usada no vapor para aquecimento ambiente (AVAC) pelo que a sua utilização é sazonal. A de 10 bar(r) é usada na calandragem e futuramente no aquecimento de óleos. A de 3,5 bar(r), tal como a de 19 bar(r), é

usada nas prensas da vulcanização. Atualmente as necessidades da linha de 3,5 bar(r) são inteiramente satisfeitas através do vapor de “flash” presente em linhas de condensado de pressões mais elevadas, pelo que não vai nenhum vapor diretamente da caldeira para esta linha. O caudal desta não entrará naturalmente nas análises seguintes. Os respetivos caudais médios são apresentados na tabela em baixo.

Tabela 9.1 - Caudais médios de vapor das linhas de 10, 7 e 3,5 bar (r).

Linhas	Aquecimento ligado	Aquecimento desligado
10 bar(r)	1000 kg/h	1000 kg/h
7 bar(r)	6000 kg/h	-
3,5 bar(r)	600 kg/h	600 kg/h

Após a quantificação destes caudais, põe-se a questão de saber se não faria sentido aproveitar-se energeticamente a queda de pressão dos mesmos. Na secção seguinte será feito um estudo teórico para verificar a potência elétrica que seria possível gerar num sistema de expansão que funcionasse em alternativa às simples válvulas redutoras de pressão com o fim de se aproveitar alguma energia útil destes processos de redução da pressão do vapor.

## 9.3 Estudo teórico

Fez-se então o estudo teórico de 3 soluções, permitindo avaliar a potência elétrica passível de ser obtida através de uma turbina de contrapressão em substituição das válvulas redutoras de pressão atualmente existentes.

Como considerações comuns às três soluções pode destacar-se:

- Rendimento isentrópico da turbina: 60%;
- Rendimento do alternador: 80%;
- Pressão do vapor à entrada: 19 bar (r), 20 bar (absoluto);
- Qualidade do vapor à entrada (título): 95%.

### 9.3.1 Solução 1

Nesta solução a turbina permite uma redução da pressão de 19 bar(r) para 10 bar(r). Após a turbina, a pressão para as restantes linhas seria reduzida com recurso a válvulas redutoras de pressão visto o diferencial de pressões existente ser reduzido. Na Figura 9.2 está representada esquematicamente esta solução. O caudal a circular na turbina é então 7000 kg/h (aquecimento ligado) ou 1000 kg/h (aquecimento desligado).

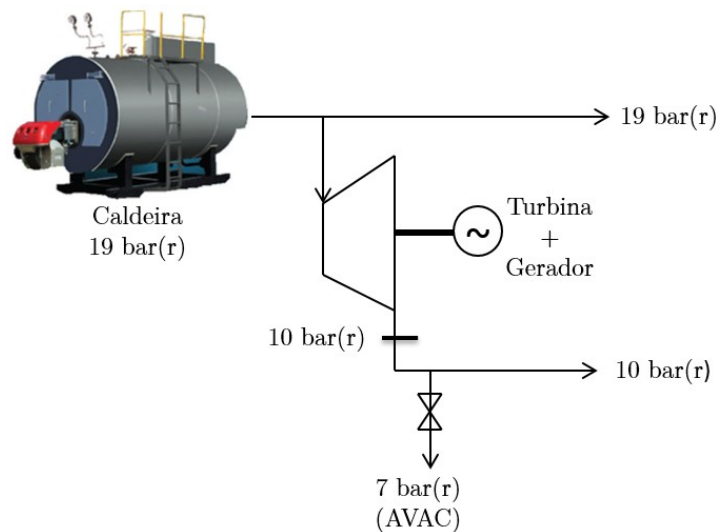


Figura 9.2 -Esquema representativo da inclusão de uma turbina na rede de vapor (solução 1).

A turbina foi modelada no *software* EES e na tabela seguinte estão presentes os resultados obtidos (potência debitada pela turbina, potência elétrica e título do vapor após a saída da mesma). O respetivo código encontra-se em anexo.

Tabela 9.2 - Resultados para a solução 1

	$\dot{W}_t$ [kW]	$\dot{W}_e$ [kW]	$x_{10bar(r)}$ [%]
Aq. Lig.	127,8	102,2	92,9
Aq. Desl.	18,3	14,6	92,9

Na Figura 9.3 está representada a evolução termodinâmica que ocorre na turbina através de um diagrama temperatura-entropia. Note-se que as linhas de pressões marcadas no diagrama dizem respeito a pressões absolutas e não relativas.

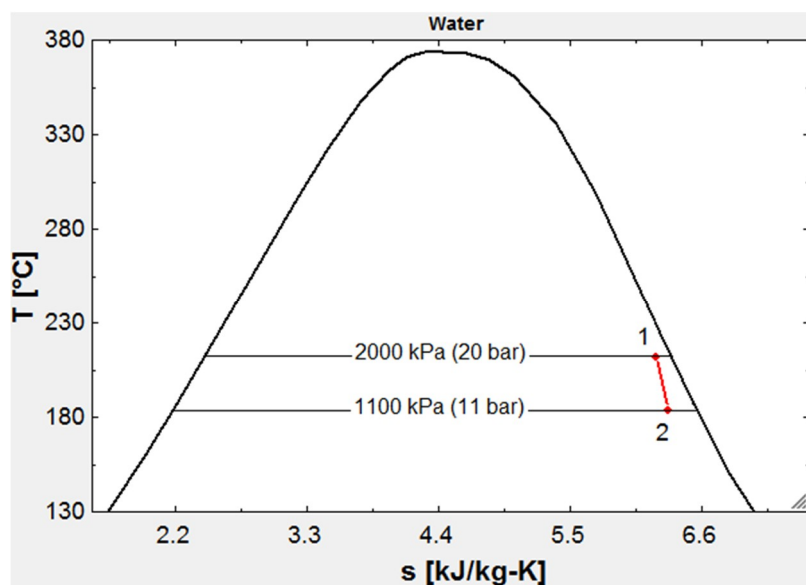


Figura 9.3 - Diagrama temperatura-entropia relativo à solução 1.

### 9.3.2 Solução 2

A segunda solução descreve uma hipótese onde todas as reduções de pressão são aproveitadas para gerar eletricidade. É utilizada uma turbina que permite a extração de vapor a pressões diferentes. A nível do modelo termodinâmico é uma solução equivalente a ter 2 turbinas em série (em que para uma determinada pressão parte do caudal ia para o utilizador e o restante seguia para uma nova turbina). Tal como no caso anterior o código correspondente à modelação do sistema (EES) encontra-se em anexo.

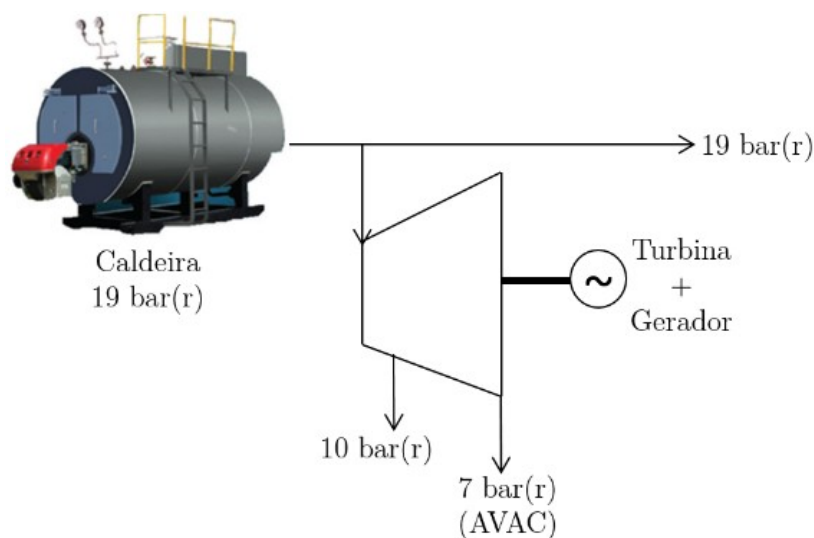


Figura 9.4 - Esquema representativo da inclusão de um turbina na rede de vapor (solução 2).

Na tabela seguinte encontram-se os resultados para esta solução.

Tabela 9.3 - Resultados para a solução 2.

	$\dot{W}_t$	$\dot{W}_e$	$x_{10bar(r)}$	$x_{7bar(r)}$
	[kW]	[kW]	[%]	[%]
Aq. Lig.	292,7	234,2	92,9	92,0
Aq. Desl.	18,3	14,6	92,9	92,0

O diagrama temperatura-entropia relativo a esta solução é apresentado a seguir (pressões absolutas).

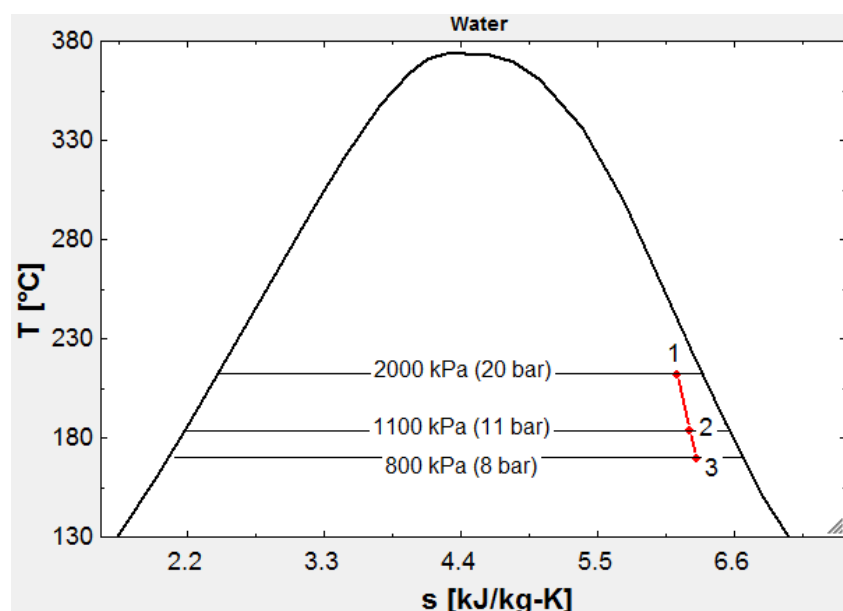


Figura 9.5 - Diagrama temperatura-entropia relativo à solução 2.

### 9.3.3 Solução 3

Nesta terceira solução apenas o vapor destinado ao AVAC passa na turbina (6000 kg/h). Sendo assim ocorre uma expansão do vapor no equipamento de 19 bar(r) até 7 bar(r). Comparativamente com a solução 1 (19bar(r)-10bar(r) 7000kg/h-aquecimento ligado), na solução 3 o caudal a circular na turbina é menor mas em contrapartida tem-se um diferencial de pressão maior. De notar que nesta situação a turbina apenas funcionaria nos meses em que o aquecimento estaria ligado.

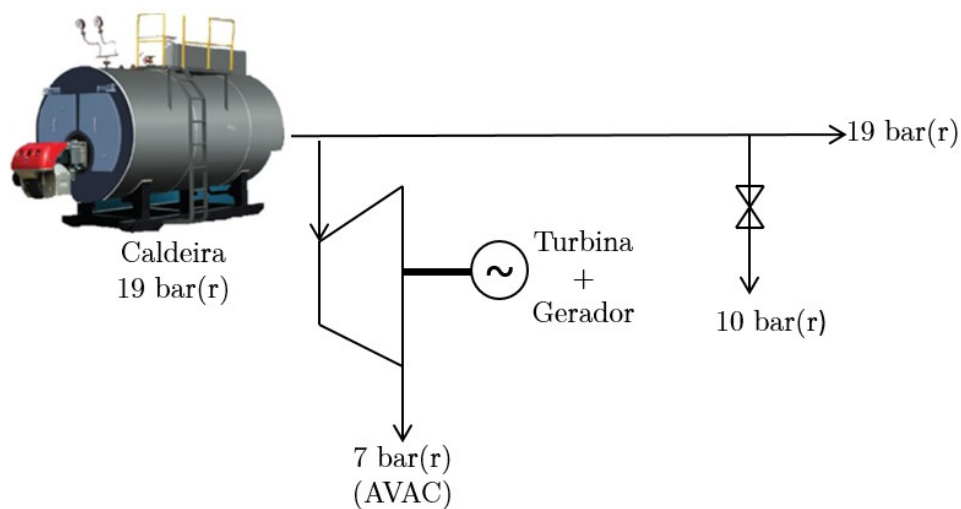


Figura 9.6 - Esquema representativo da inclusão de uma turbina na rede de vapor (solução 3).

Na tabela que em baixo se apresenta encontram-se os resultados para esta solução.

Tabela 9.4 - Resultados da solução 3.

	$\dot{W}_t$	$\dot{W}_e$	$x_{7bar(r)}$
	[kW]	[kW]	[%]
Aq. Lig.	164,9	131,9	92,0

Na Figura 9.7 está representada, num diagrama temperatura-entropia, a evolução sofrida pelo fluido na turbina. De referir, mais uma vez, que as pressões apresentadas na figura são absolutas.

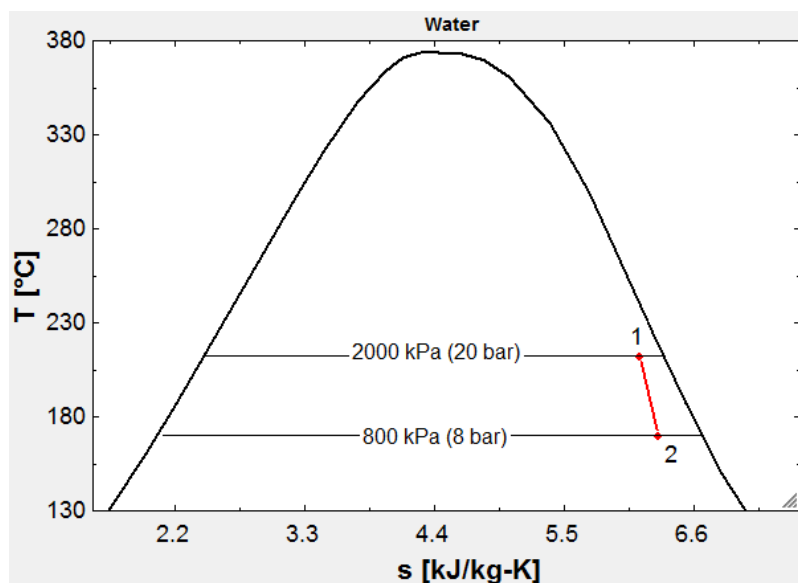


Figura 9.7 - Diagrama temperatura entropia relativo à solução 3.



### 9.3.4 Conclusões do estudo termodinâmico

Como conclusões da análise termodinâmica pode destacar-se que:

- Tal como seria esperado, nas situações em que existe consumo de vapor no AVAC as potências elétricas obtidas são consideravelmente superiores (devido ao maior caudal a circular).
- O uso de uma turbina que permita extração de vapor a diferentes pressões (solução 2) possibilita um aumento para próximo do dobro da potência elétrica gerada.
- Através da solução 3 conseguiu-se obter cerca de mais 30 kW de potência elétrica do que na solução 1. Ou seja, neste caso, o aumento da diferença entre as pressões de entrada e saída compensou a diminuição do caudal a circular na turbina.
- Para todas as soluções verificou-se que o vapor final continua a ser de boa qualidade (títulos superiores a 90%, tendo sido considerado um título inicial de 95%).

## 9.4 Contato com fabricantes

Feito o estudo teórico procedeu-se à pesquisa de fabricantes deste tipo de equipamentos. Serão apresentadas propostas sugeridas por duas empresas com diferentes tecnologias. A primeira diz respeito à tradicional turbina de contrapressão, tendo sido apresentada pela Siemens. Na segunda proposta é apresentada uma máquina alternativa (motor) da empresa Practical Steam.

### 9.4.1 Siemens

As principais informações a destacar da proposta apresentada por esta empresa estão presentes na tabela em baixo.

Tabela 9.5 - Proposta apresentada pela Siemens.

Modelo	Redução de pressão [bar(r)]	Caudal vapor [kg/h]	Potência Elétrica [kW]	Preço [€]
SST-040	19-7	6000	129	275.000,00

Esta turbina Siemens apenas poderá funcionar quando o AVAC estiver a consumir vapor. Fora deste período a quantidade de vapor a circular não é suficiente para ser vantajoso ter o equipamento em operação. Verifica-se que a potência elétrica debitada é aproximadamente aquela que tinha sido estimada aquando do estudo teórico (solução 3).

Dado o elevado investimento inicial esta solução só seria economicamente viável caso a turbina funcionasse durante todo o ano. Algo que de momento não acontece dado o consumo de vapor no AVAC (principal consumidor de vapor a pressão reduzida) ser sazonal. Como tal não será demonstrada em pormenor a análise financeira desta aplicação. No ponto seguinte será apresentada uma tecnologia diferente cuja aplicação é economicamente viável mesmo só entrando em funcionamento 3,5 meses por ano. O documento relativo à proposta apresentada pela Siemens encontra-se em anexo.

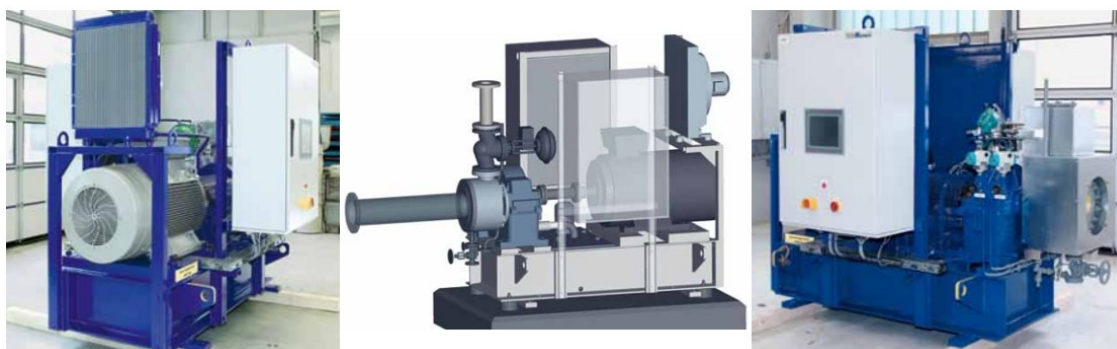


Figura 9.8 - Equipamento proposto pela Siemens, adaptado de (48).

## 9.4.2 Practical Steam

A Practical Steam é uma empresa norte americana que apresentou uma proposta para uma máquina alternativa a vapor, em vez da tradicional turbina de contrapressão. Tal como no caso anterior esta é aplicada em substituição das válvulas redutoras de pressão, permitindo a produção de energia elétrica enquanto a pressão é reduzida até um valor desejado.

O motor ou máquina alternativa a vapor faz parte de um sistema integrado, compacto e de fácil manutenção. Também só poderia ser usado durante a estação de aquecimento visto ser necessário um caudal mínimo de 2000 kg/h.

Algumas das vantagens da utilização (neste tipo de aplicações – baixas potências) deste motor em detrimento de uma turbina são:

- Melhor resposta às variações de caudal;
- Bom rendimento a diferentes gamas de caudais;
- Investimento inicial substancialmente menor;
- Custos de manutenção mais baixos.

O motor admite um caudal máximo de vapor de 5200 kg/h o que possibilita o seu uso sempre às condições ideais (em média a Continental consome 6000 kg/h no aquecimento), sendo controlada a sua produção elétrica consoante a queda de pressão imposta.

Na Figura 9.9 apresenta-se esquematicamente um exemplo de integração deste motor numa rede de vapor. É visível a simplicidade da instalação estando o equipamento montado em paralelo (*bypass*) com a válvula redutora de pressão correspondente.

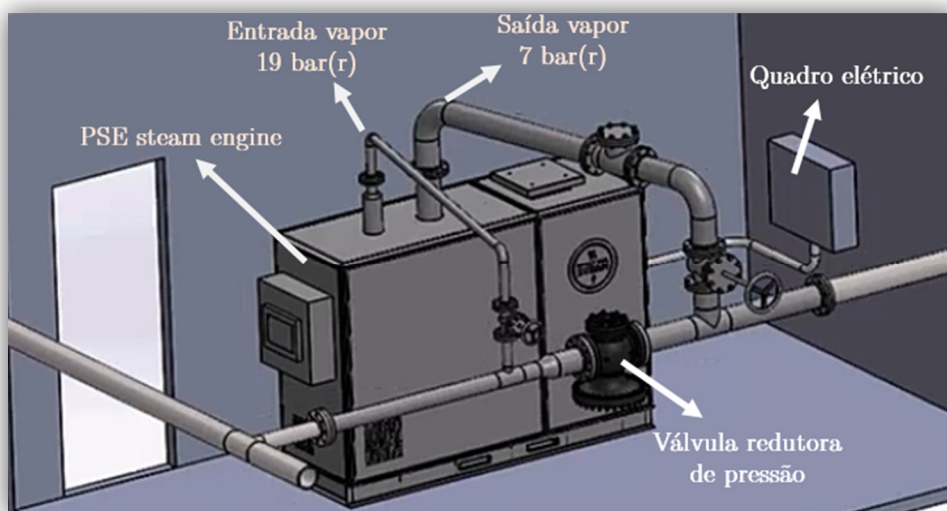


Figura 9.9 - Esquema de montagem do motor, adaptado de (46).

Foi solicitado à empresa simulações de desempenho para uma redução de 19bar(r)-7bar(r) e de 19bar(r)-5bar(r). Pediu-se uma simulação até 5 bar(r) pelo facto de na linha de 7 bar(r) existirem sucessivas reduções de pressão antes do vapor chegar às UTAs. É então necessário a realização de um estudo que avalie os prós e contras de uma redução direta para 5 bar(r) junto às caldeiras.

Na tabela seguinte está descrita a proposta apresentada pela Practical Steam. Encontrando-se também a potência elétrica obtida para dois casos de redução de pressão.

Tabela 9.6 - Proposta apresentada pela Practical Steam.

Modelo	Redução de pressão [bar(r)]	Caudal vapor [kg/h]	Potência Elétrica [kW]	Preço [€]
PSE	19-7	5200	145	124.000,00
PSE	19-5	5200	165	124.000,00

Constata-se então que o investimento inicial é substancialmente menor que no caso da turbina da Siemens e que a potência elétrica gerada é superior. Uma redução até 5 bar(r) na pressão de saída do vapor permite um aumento da potência elétrica debitada de 20 kW. Como referido o caudal mínimo admissível no motor é de 2000 kg/h. O vapor à saída do motor possui um título de 90% (considerando 95% à entrada). A proposta relativa a este equipamento encontra-se em anexo.

### 9.4.3 Análise financeira

Em seguida será feito o estudo económico relativo à proposta apresentada pela Practical Steam (motor), considerando uma redução de pressão de 19 bar(r) para 7 bar(r) e uma utilização de 3,5 meses por ano.

Como parâmetros iniciais deste estudo tem-se:

- Preço do equipamento: 124.000,00 €;
- Potência elétrica gerada: 145 kW;
- Custo manutenção: 0,55 €/hora de funcionamento (dado fornecido pelo fabricante);
- Tempo de funcionamento: 3,5 meses/ano;
- Preço da eletricidade: 0,08 €/kWh;
- Taxa de atualização do preço da eletricidade: 2%/ano.

Tabela 9.7 - Estudo económico da aplicação do motor PSE, redução 19bar(r)-7bar(r), utilização de 3,5 meses/ano.

Ano	Preço ele. [€/kWh]	Produção [kWh]	Receitas [€]	Custos [€]	Res. líquido [€]	Acumulado [€]
0	-	-	-	124000,00	-124000,00	-124000,00
1	0,080	340025	27202,00	1289,75	25912,25	-98087,75
2	0,082	340025	27746,04	1289,75	26456,29	-71631,46
3	0,083	340025	28300,96	1289,75	27011,21	-44620,25
4	0,085	340025	28866,98	1289,75	27577,23	-17043,02
5	0,087	340025	29444,32	1289,75	28154,57	11111,55

6	0,088	340025	30033,21	1289,75	28743,46	39855,01
7	0,090	340025	30633,87	1289,75	29344,12	69199,13
8	0,092	340025	31246,55	1289,75	29956,80	99155,92
9	0,094	340025	31871,48	1289,75	30581,73	129737,65
10	0,096	340025	32508,91	1289,75	31219,16	160956,81
11	0,098	340025	33159,09	1289,75	31869,34	192826,15
12	0,099	340025	33822,27	1289,75	32532,52	225358,66
13	0,101	340025	34498,71	1289,75	33208,96	258567,63
14	0,103	340025	35188,69	1289,75	33898,94	292466,57
15	0,106	340025	35892,46	1289,75	34602,71	327069,28
16	0,108	340025	36610,31	1289,75	35320,56	362389,84
17	0,110	340025	37342,52	1289,75	36052,77	398442,60
18	0,112	340025	38089,37	1289,75	36799,62	435242,22
19	0,114	340025	38851,15	1289,75	37561,40	472803,63
20	0,117	340025	39628,18	1289,75	38338,43	511142,05
<i>Payback: 4,6 TIR: 22,44%</i>						

Caso fosse possível fazer uma redução de 19 bar(r) para 5 bar(r) (em vez de 7 bar(r)) os resultados são mais satisfatórios. Como a máquina seria a mesma, o investimento inicial não era alterado e tirava-se mais usufruto do equipamento. O mesmo se passa caso o tempo de uso do equipamento (por ano) aumente.

Na tabela seguinte é feita uma comparação da vantagem que representaria uma redução de pressão de 19 bar(r) para 5 bar(r). Estão também presentes os parâmetros financeiros para caso o motor funcionasse durante todo o ano (útil caso no futuro haja consumidores constantes ao longo do ano).

Tabela 9.8 - Parâmetros financeiros e ambientais em função da utilização do motor.

Red. pressão [bar(r)]	Tempo utilização [meses/ano]	Lucro médio [€/ano]	Red. em. CO <sub>2</sub> [tCO <sub>2</sub> /ano]	Payback [anos]	TIR [%]
19-7	3,5	31.750,00	159,8	4,6	22,44
19-5		36.300,00	181,9	4,0	25,63
19-7	12	108.900,00	623,5	1,4	73,74
19-5		124.500,00	547,9	1,2	84,11

Como seria de esperar, diminuir a pressão de saída para 5 bar(r), aumentando o diferencial entre a entrada e a saída, permite reduzir o tempo de *payback* aumentando a taxa interna de retorno para próximo dos 26%. Esta situação tem

inerente um aumento do lucro (em média) de 4.500€/ano comparativamente com o caso em que a pressão é reduzida somente até aos 7 bar(r), funcionando 3,5 meses.

Numa situação ideal em que o equipamento funcionaria sem interrupções sazonais o tempo de *payback* diminui significativamente para cerca de um ano e poucos meses tendo-se uma taxa interna de retorno na casa dos 80%. A redução de emissões pode ir desde as 160 tCO<sub>2</sub>/ano para a situação em que o motor só é usado 3,5 meses por ano (redução até 7 bar(r)) até às 624 tCO<sub>2</sub>/ano caso o motor estivesse ligado o ano todo (redução até 5 bar(r)). Estes valores foram calculados com base na energia elétrica produzida pelo equipamento.

#### 9.4.4 Conclusões do contacto com fabricantes

Como principais conclusões do contacto com fabricantes deste tipo de equipamentos pode destacar-se:

- Em ambas as propostas é necessário um caudal mínimo para os equipamentos funcionarem pelo que nesta altura só compensa a sua utilização durante a estação de aquecimento;
- As turbinas necessitam de uma maior estabilidade e controlo do caudal de vapor a circular;
- Constata-se que para aplicações de pequena dimensão as máquinas alternativas apresentam vantagens significativas relativamente às tradicionais turbinas, principalmente a nível do controlo, potência debitada e investimento inicial;
- Estes sistemas permitem uma redução considerável de emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera visto tirar-se partido de um potencial energético anteriormente não aproveitado.

# Capítulo 10

## Conclusões e

## trabalhos futuros





## 10.1 Conclusões

Nesta dissertação analisaram-se diversas opções de aproveitamento energético de correntes térmicas a temperaturas relativamente baixas existentes nas instalações fabris da Continental-Mabor, que, face aos desenvolvimentos tecnológicos mais recentes, passaram a poderem garantir aproveitamentos energéticos significativos. Como principais conclusões deste trabalho podem destacar-se os seguintes tópicos:

- Uma fábrica da dimensão da Continental-Mabor possui inúmeras oportunidades energéticas. Este trabalho focou-se apenas em algumas delas, de aproveitamento relativamente simples, existindo ainda um enorme potencial para novas análises, mas que agora envolveriam possivelmente alterações no processo de fabricação dos pneus.
- As principais fontes energéticas identificadas foram: os gases de escape da cogeração (150 °C, 18 kg/s), a corrente de condensados limpos (116 °C, 3 kg/s) e a corrente de *blowdown* (77 °C, 1,6 kg/s).
- As fontes quentes descritas no ponto anterior (individuais ou combinação entre elas) podem servir de alimentação a máquinas que produzem eletricidade baseadas no ciclo de Rankine orgânico (ORC).
- Utilizando as 3 fontes quentes seria possível ter-se uma máquina ORC de 54 kW, correspondendo a uma economia anual de 37.850,00€ e a uma redução de emissões de 204,1 tCO<sub>2</sub>/ano.
- O mercado de equipamentos ORC para potências pequenas é embrionário pelo que os preços ainda são elevados. Porém, é exetável que em 2-3 anos estes diminuam significativamente.
- Os gases de escape da cogeração têm, em alternativa à proposta anterior, capacidade energética suficiente para servir de alimentação a um *chiller* de absorção.
- A integração de um *chiller* de absorção na rede de água gelada das extrusoras permite uma poupança anual de mais de 60.000,00€ e uma redução nas emissões de gases com efeito de estufa de 306 tCO<sub>2</sub>/ano.
- Os sistemas de ar comprimido são dos mais ineficientes a nível industrial pelo que pequenos melhoramentos proporcionam poupanças significativas.

- A redução de meio bar na pressão global dos compressores permite uma poupança de 50.000,00€/ano reduzindo em cerca de 300tCO<sub>2</sub> as emissões anuais;
- A alimentação dos compressores com ar exterior (mais frio) traduz-se num ganho anual de 31.150,00 € e numa redução de emissões de 183 tCO<sub>2</sub>/ano;
- A substituição das tradicionais válvulas redutoras de pressão (VRP) por equipamentos de expansão do vapor que permitissem em simultâneo a produção de eletricidade é uma medida simples que aumenta a eficiência global dos processos.
- A integração do motor alternativo a vapor da Practical Steam em substituição das VRP possibilita ganhos superiores a 30.000,00€ (com uma redução de 160 tCO<sub>2</sub>/ano) mesmo só funcionando 3,5 meses (estação aquecimento).

Para uma melhor compreensão das oportunidades energéticas analisadas apresenta-se seguidamente um quadro resumo das diferentes soluções estudadas.

Tabela 10.1 – Quadro resumo das soluções estudadas.

Projeto	Recurso Energético	Notas	Empresa	Equipamento	Inv. Inicial [€]	Red. emiss. [tCO <sub>2</sub> /ano]	Lucro médio [€/ano]	<i>Payback</i> [anos]	TIR [%]
Ciclo de Rankine Orgânico (eletricidade a partir de fontes de calor)	Gases escape, <i>blowdown</i> , cond. limpos	-	Rank	1103001	145.00,00	188,9	34.420,00	4,9	21,40
		-	ElectraTherm	4400	167.869,00	204,1	37.850,00	5,2	20,03
	Gases escape e cond. limpos	-	ElectraTherm	4400	167.869,00	188,9	35.050,00	5,6	18,61
	Gases escape	-	Enogia	ENO40LT	90.000,00	151,2	28.050,00	3,9	27,17
		-	Rank	1103001	122.281,00	124,7	23.150,00	6,2	16,91
		-	ElectraTherm	4400	167.869,00	158,7	29.500,00	6,6	15,69
	Cond. limpos	-	Enogia	ENO10LT	35.000,00	37,8	7.000,00	5,9	17,88
		-	Rank	1103010	32.750,00	30,2	5.600,00	6,8	15,32
<i>Chiller</i> absorção	Gases escape	Subst. <i>chillers</i> da extrusão	YORK	YIA 1A1	200.000,00 ( <i>chiller</i> , obra etc)	306,0	60.400,00 (comparando com os convencionais)	3,9	26,54
Melhoria do sistema ar comprimido	Ar comprimido	Redução pressão	-	-	-	58,7(-0,1bar) 586,4(-1,0bar)	9.995,00 (-0,1bar) 99.800,00 (-1,0bar)	-	-
		Captação ar exterior	-	-	-	183,0	31.150,00	-	-
Motor redução pressão	Vapor	Utilização 3,5 meses/ano	Practical Steam	PSEngine	124.00,00	159,8-7bar(r) 181,9-5bar(r)	31.750,00-7bar(r) 36.300,00-5bar(r)	4,6-7bar(r) 4,0-5bar(r)	22,44 25,63

## 10.2 Trabalhos Futuros

Em seguida apresentam-se algumas sugestões de trabalhos futuros:

- Análise e caracterização do potencial energético da água do vácuo;
- Análise termodinâmica dos equipamentos que geram grandes quantidades de calor (ex: misturadores e calandras) de modo a encontrar oportunidades de aproveitamento energético;
- Estudo de viabilidade da criação de um sistema de trigeriação de modo a estabilizar a produção de vapor na caldeira, aumentando o seu rendimento (sendo necessário a existência de consumidores de frio);
- Caracterização (temperatura e caudal) do circuito de arrefecimento dos compressores e do circuito de óleo de modo a avaliar o potencial energético;
- Medir o caudal mássico que circula no *blowdown* e comparar com as estimativas realizadas;
- Analisar hipótese de condensar o vapor de “flash” das prensas de vulcanização que atualmente é libertado para atmosfera de modo a servir de alimentação a uma máquina ORC (produção eletricidade) ou a um *chiller* absorção (caso haja consumidores de frio).

# Referências

1. E., Abdelaziz and Saidur, R. *A review on energy strategies in industrial sector*. Renewable and sustainable energy reviews, 2011. Volume 15, Issue 1, 150-168.
2. US Energy Information Administration. [Online] 3 Março 2015. <http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=447&t=1>.
3. European Commission. *Energy 2020 - A strategy for competitive, sustainable and secure energy*. Brussels, Belgium. 2010.
4. Direção geral de energia e geologia. [Online] 2 Março 2015. <http://www.dgeg.pt/>.
5. Alternative Energy. [Online] 20 Junho 2015. <http://www.altenergy.org/renewables/geothermal.html>.
6. US Department of Energy. *Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities*. Washington DC, USA. 2008.
7. REHVA. *HVAC in sustainable office buildings*. Brussels, Belgium. 2012.
8. Fafhri, A. *Heat pipes: review, opportunities and challenges*. Connecticut, USA. Global digital central, 2014. .
9. Auditene. *Relatório da auditoria energética à Continental-Mabor*. Vila Nova de Famalicão, Portugal. 2014.
10. Continental AG. A review of more 140 years of dynamic development. [Online] 22 Fevereiro 2015. [http://www.continental-corporation.com/www/portal\\_com\\_en/themes/continental/history](http://www.continental-corporation.com/www/portal_com_en/themes/continental/history).
11. MABOR - Manufatura Nacional de Borracha. [Online] 22 Fevereiro 2015. <http://restosdecoleccion.blogspot.pt/2012/01/mabor-manufatura-nacional-de-borracha.html>.
12. Continental AG. *Basic elements of a tyre*. Hannover, Germany . 2010.
13. História do pneu (Wikipedia). [Online] 10 Março 2015. <http://pt.wikipedia.org/wiki/pneu>.
14. Continental AG. *From the raw material to high performance tire*. Hannover, Germany. 2008.
15. Continental-Mabor. *Relatório de Energia*. 2015.
16. Andrade, J. *Projeto de rede de produção e distribuição de vácuo usado na vulcanização de pneus*. Porto, Portugal. FEUP, 2014.

17. Holman, J. *Experimental methods for engineers*. New York, USA McGraw-Hill.
18. Cengel, Y. and Boles, M. *Thermodynamics: An Engineering Approach*. New York, USA. McGraw Hill, 2006.
19. TURBODEN. História do ciclo de Rankine. [Online] 4 Março 2015. <http://www.turboden.eu/en/rankine/rankine-history.php>.
20. Pinho, C. *Sebenta de Sistemas Térmicos*. Porto, Portugal. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014.
21. Duffy, D. *Better cogeneration through chemistry: the organic Rankine cycle*. SOWA and Distributed Energy, 2005.
22. Pinho, C. *Sebenta de Gestão de Energia Térmica*. Porto, Portugal. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014.
23. Derungs, W. *Naphthenic acid corrosion - An old enemy of the petroleum industry*. Corrosion: The Journal of Science and Engineering. 1956. Vol. 12, No. 12, pp. 41-46.
24. TURBODEN. Geothermal. [Online] 2015 Março 25. <http://www.turboden.eu/en/applications/applications-geothermal.php>.
25. US Department of Energy. *Use Low-Grade Waste Steam to Power Absorption Chillers*. Washington DC, USA . 2012.
26. Southern California Gas Company. *Absorption Chillers: Guideline*. California, USA .New Buildings Institute. 1998.
27. YORK by Johnson Controls. *YIA Single-Effect Absorption Chillers Steam and Hot Water*. Oklahoma, USA. 2010.
28. Auditene. *Instalação de rede de água gelada na zona da extrusão*. Vila Nova de Famalicão, Portugal. 2014.
29. White, F. *Fluid Mechanics*. New York, USA. McGraw-Hill. 1999.
30. CEA Technologies Inc. *Compressed air: energy efficiency reference guide*. Canada. 2007.
31. Saidur, R., Rahim, N. and Hasanuzzaman, M. *A review on compressed-air energy use and energy savings*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier. 2010. Volume 14, Issue 4, 1135-1153.
32. US Department of Energy. *Improving compressed air system performance*. Washington DC, USA. 2003.
33. US Department of Energy. *Replace Pressure-Reducing Valves with Backpressure Turbogenerators*. Washington DC, USA. 2012.

34. Página da Continental na Wikipedia. [Online] 19 de Fevereiro de 2015. [http://de.wikipedia.org/wiki/Continental\\_AG](http://de.wikipedia.org/wiki/Continental_AG).
35. Página sobre o ciclo de Rankine na Wikipedia. [Online] 4 Março 2015. [http://en.wikipedia.org/wiki/rankine\\_cycle](http://en.wikipedia.org/wiki/rankine_cycle).
36. Industry Smoke. [Online] 15 Março 2015. [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Industry\\_smoke.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Industry_smoke.jpg).
37. Solar ORC. [Online] 23 Março 2015. <http://www.stginternational.org/renewable-energy-technologies>.
38. Biomassa. [Online] 27 Março 2015. <http://www.imaflorestal.com>.
39. Johnson Controls. [Online] 22 Abril 2015. <http://www.johnsoncontrols.com/>.
40. SKF. [Online] 30 Abril 2015. <http://www.skf.com>.
41. Continental AG. [Online] 3 Março 2015. [http://www.continental-corporation.com/www/portal\\_com\\_en](http://www.continental-corporation.com/www/portal_com_en).
42. iPress Journal. [Online] 10 Março 2015. <http://www.ipressjournal.pt/continental-textil-do-ave-superou-producao-e-vendas-em-2013>.
43. Entre Planos. [Online] 12 Março 2015. <http://www.entreplanos.com/projectos/comercio-e-industria/instalacoes-da-continental-teves/58>.
44. Kaeser. [Online] 4 Abril 2015. <http://www.kaeser.pt>.
45. Kaeser compressors. *Heat recovery for hot air and hot water applications*. Germany .2010.
46. Practical Steam. *General Presentation of Practical Steam Engine*. Seattle, USA.2015.
47. Rettig, A. and Lagler, M. *Application of Organic Rankine Cycle (ORC)*. Geneve, Switzerland.World Engineers Convention. 2011.
48. Siemens. *Predesigned Steam Turbine SST-040 (brochure)*. Germany .2015.
49. TURDOBEN. *Organic Rankine Cycle Technology brochure*. Brescia, Italy.2014.
50. YORK by Johnson Control. *Application opportunities for absorption chillers*. Oklahoma, USA. 2008.

# Anexos

Em anexo encontram-se os seguintes documentos:

- Códigos das modelações feitas aos diferentes sistemas analisados;
- Dados técnicos de equipamentos;
- Propostas apresentadas pelos diferentes fornecedores;
- Simulações de desempenho disponibilizadas pelos fornecedores.



# Anexo A: Códigos EES

## Modelação ORC 3 fontes quentes

```
m_blowdown=1.6
T_9=77
m_condensados=3
T_11=116
T_12=106
m_gases_escape=18.2
T_13=150
T_13-T_1=10[C]
T_11-T_8=10[C]
T_9-T_7=10[C]
T_4=30
n_T=0.8
n_b=0.8
n_rec=0.7
"balanco turbina"
W_turbina=m_dot*(h_1-h_2)
"balanco economizador"
h_2-h_3=h_6-h_5
"Fonte fria"
Q_fontefria=m_dot*(h_3-h_4)
"balanco bomba"
W_bomba=m_dot*(h_5-h_4)
"Fonte Quente blow down"
Q_blowdown=m_dot*(h_7-h_6)
Q_blowdown=m_blowdown*cp_blowdown*(T_9-T_10)
T_blowdown_med=(T_10+T_9)*0.5
P_blowdown=100
cp_blowdown=Cp(Water,T=T_blowdown_med,P=P_blowdown)
"Fonte Quente Condensados"
Q_condensados=m_dot*(h_8-h_7)
Q_condensados=m_condensados*cp_condensados*(T_11-T_12)
T_condensados_med=(T_11+T_12)*0.5
P_condensados=P_sat(Water,T=T_11)
cp_condensados=Cp(Water,T=T_condensados_med,P=P_condensados)
"Fonte Quente gases escape cogeração"
Q_gases_escape=m_dot*(h_1-h_8)
Q_gases_escape=m_gases_escape*cp_gases_escape*(T_13-T_14)
T_med_gases=0.5*(T_13+T_14)
P_gases=101.325
"ponto1"
x_1=1
P_1=Pressure(R245fa,T=T_1,x=x_1)
h_1=Enthalpy(R245fa,T=T_1,x=x_1)
s_1=Entropy(R245fa,T=T_1,x=x_1)
"ponto2s"
s_2s=s_1
P_2s=P_2
h_2s=Enthalpy(R245fa,P=P_2s,s=s_2s)
"rendimento isentropico da turbina"
n_T=(h_1-h_2)/(h_1-h_2s)
"ponto2"
P_2=P_4
T_2=Temperature(R245fa,P=P_2,h=h_2)
"ponto3"
P_3=P_4
h_3=Enthalpy(R245fa,T=T_3,P=P_3)

"ponto4"
x_4=0
h_4=Enthalpy(R245fa,T=T_4,x=x_4)
P_4=Pressure(R245fa,T=T_4,x=x_4)
s_4=Entropy(R245fa,T=T_4,x=x_4)
"ponto5s"
s_5s=s_4
P_5s=P_5
h_5s=Enthalpy(R245fa,P=P_5s,s=s_5s)
"rendimento isentropico da bomba"
n_b=(h_5s-h_4)/(h_5-h_4)
"ponto5"
P_5=P_1
T_5=Temperature(R245fa,P=P_5,h=h_5)
"eficiencia economizador"
n_rec=(T_6-T_5)/(T_2-T_5)
"ponto6"
P_6=P_1
h_6=Enthalpy(R245fa,T=T_6,P=P_6)
"ponto7"
P_7=P_6
h_7=Enthalpy(R245fa,T=T_7,P=P_7)
"Frações mássicas da mistura dos gases de combustão"
Y_CO2=0.060
Y_H2O=0.049
Y_N2=0.750
Y_O2=0.141
cp_CO2=Cp(CarbonDioxide,T=T_med_gases,P=P_gases)
cp_H2O=Cp(Water,T=T_med_gases,P=P_gases)
cp_N2=Cp(nitrogen,T=T_med_gases,P=P_gases)
cp_O2=Cp(oxygen,T=T_med_gases,P=P_gases)
cp_gases_escape=Y_CO2*cp_CO2+Y_H2O*cp_H2O+Y_N2*cp_N2+Y_O2*cp_O2
"ponto8"
P_8=P_7
h_8=Enthalpy(R245fa,T=T_8,P=P_8)
"rendimento do ciclo"
n_ciclo=W_liquido/(Q_condensados+Q_blowdown+Q_gases_escape)
W_ele=n_alt*W_turbina
n_alt=0.8
Q_fontes_quente=Q_gases_escape+Q_condensados+Q_blowdown
W_liquido=W_ele-W_bomba
```

## Modelação ORC *blowdown* + condensados limpos

```

m_blowdown=1.67
m_condensados=3.9
T_4=30
n_T=0.8
n_b=n_T
"balanco turbina"
W_turbina=m_dot*(h_1-h_2)
"balanco economizador"
h_2-h_3=h_6-h_5
"Fonte fria"
Q_fontefria=m_dot*(h_3-h_4)
"balanco bomba"
W_bomba=m_dot*(h_5-h_4)
"Fonte Quente Condensados"
Q_condensados=Q_condensados_sensivel+Q_condensados_latente
Q_condensados_sensivel=m_dot*(h_12-h_7)
Q_condensados_latente=m_dot*(h_1-h_12)
Q_condensados=m_condensados*cp_condensados*(T_10-T_11)
T_12=T_1
x_12=0
h_12=Enthalpy(R245fa,T=T_12,x=x_12)
T_10=116
T_11=106
T_condensados_med=(T_10+T_11)*0.5
P_condensados=P_sat(Water,T=T_10)
cp_condensados=Cp(Water,T=T_condensados_med,P=P_condensados)
"ponto1"
T_1=T_10-10[C]
x_1=1
P_1=Pressure(R245fa,T=T_1,x=x_1)
h_1=Enthalpy(R245fa,T=T_1,x=x_1)
s_1=Entropy(R245fa,T=T_1,x=x_1)
"Ponto2s"
s_2s=s_1
P_2s=P_2
h_2s=Enthalpy(R245fa,P=P_2s,s=s_2s)
"rendimento isentropico da turbina"
n_T=(h_1-h_2)/(h_1-h_2s)
"ponto2"
P_2=P_4
T_2=Temperature(R245fa,P=P_2,h=h_2)
"ponto3"
P_3=P_4
h_3=Enthalpy(R245fa,T=T_3,P=P_3)
"ponto4"
x_4=0
h_4=Enthalpy(R245fa,T=T_4,x=x_4)
P_4=Pressure(R245fa,T=T_4,x=x_4)
s_4=Entropy(R245fa,T=T_4,x=x_4)
"Ponto5s"
s_5s=s_4
P_5s=P_5
h_5s=Enthalpy(R245fa,P=P_5s,s=s_5s)
"rendimento isentropico da bomba"
n_b=(h_5s-h_4)/(h_5-h_4)
"ponto5"
P_5=P_1
T_5=Temperature(R245fa,P=P_5,h=h_5)

"eficiencia economizador"
n_rec=0.7
n_rec=(T_6-T_5)/(T_2-T_5)
"ponto6"
P_6=P_1
h_6=Enthalpy(R245fa,T=T_6,P=P_6)
"Fonte Quente blow down"
Q_blowdown=m_dot*(h_7-h_6)
Q_blowdown=m_blowdown*cp_blowdown*(T_8-T_9)
T_8=77
T_blowdown_med=(T_8+T_9)*0.5
P_blowdown=100
cp_blowdown=Cp(Water,T=T_blowdown_med,P=P_blowdown)
"ponto7"
P_7=P_6
T_7=T_8-10[C]
h_7=Enthalpy(R245fa,T=T_7,P=P_7)
"rendimento do ciclo"
n_ciclo=W_liq/(Q_condensados+Q_blowdown)
W_el=W_turbina*0.8
W_liq=W_el-W_bomba
Q_fontesquentes=Q_condensados+Q_blowdown

```

## Modelação ORC *blowdown*

```

m_blowdown=1.60
T_4=40
n_T=0.7
n_b=n_T
"balanco turbina"
W_turbina=m_dot*(h_1-h_2)
"balanco economizador"
h_2-h_3=h_6-h_5
"balanco condensador"
Q_fontefria=m_dot*(h_3-h_4)
"balanco bomba"
W_bomba=m_dot*(h_5-h_4)
"balanço fonte quente"
Q_blowdown=m_dot*(h_1-h_6)
Q_blowdown=m_blowdown*cp*(T_8-T_9)
T_8=77
T_9=67
T_agua_med=(T_8+T_9)*0.5
P_aguaquente=100
cp=Cp(Water,T=T_agua_med,P=P_aguaquente)
"ponto1"
T_1=T_8-10[C]
x_1=1
P_1=Pressure(R245fa,T=T_1,x=x_1)
h_1=Enthalpy(R245fa,T=T_1,x=x_1)
s_1=Entropy(R245fa,T=T_1,x=x_1)
"Ponto2s"
s_2s=s_1
P_2s=P_2
h_2s=Enthalpy(R245fa,P=P_2s,s=s_2s)
"rendimento isentropico da turbina"
n_T=(h_1-h_2)/(h_1-h_2s)
"ponto2"
P_2=P_4
T_2=Temperature(R245fa,P=P_2,h=h_2)
"ponto3"
P_3=P_4
h_3=Enthalpy(R245fa,T=T_3,P=P_3)
"ponto4"
x_4=0
h_4=Enthalpy(R245fa,T=T_4,x=x_4)
P_4=Pressure(R245fa,T=T_4,x=x_4)
s_4=Entropy(R245fa,T=T_4,x=x_4)

"Ponto5s"
s_5s=s_4
P_5s=P_5
h_5s=Enthalpy(R245fa,P=P_5s,s=s_5s)
"rendimento isentropico da boma"
n_b=(h_5s-h_4)/(h_5-h_4)
"ponto5"
P_5=P_1
T_5=Temperature(R245fa,P=P_5,h=h_5)
"eficiencia recuperador"
n_rec=0.7
n_rec=(T_6-T_5)/(T_2-T_5)
"n_rec=(T_2-T_3)/(T_2-T_5)"
"ponto6"
P_6=P_1
h_6=Enthalpy(R245fa,T=T_6,P=P_6)
"rendimento do ciclo"
n_ciclo=W_liq/Q_blowdown
W_el=0.8*W_turbina
W_liq=W_el-W_bomba

```

## Modelação ORC condensados limpos

```

m_condensados=3
T_4=40
n_T=0.7
n_b=n_T
"balanco turbina"
W_turbina=m_dot*(h_1-h_2)
"balanco economizador"
h_2-h_3=h_6-h_5
"balanco condensador"
Q_fontefria=m_dot*(h_3-h_4)
"balanco bomba"
W_bomba=m_dot*(h_5-h_4)
"balanco fonte quente"
Q_condensados=m_dot*(h_1-h_6)
Q_condensados=m_condensados*cp*(T_10-T_11)
T_10=116
T_11=106
T_agua_med=(T_10+T_11)*0.5
P_aguaquente=P_sat(Water,T=T_10)
cp=Cp(Water,T=T_agua_med,P=P_aguaquente)
"ponto1"
T_1=T_10-10[C]
x_1=1
P_1=Pressure(R245fa,T=T_1,x=x_1)
h_1=Enthalpy(R245fa,T=T_1,x=x_1)
s_1=Entropy(R245fa,T=T_1,x=x_1)
"Ponto2s"
s_2s=s_1
P_2s=P_2
h_2s=Enthalpy(R245fa,P=P_2s,s=s_2s)
"rendimento isentropico da turbina"
n_T=(h_1-h_2)/(h_1-h_2s)
"ponto2"
P_2=P_4
T_2=Temperature(R245fa,P=P_2,h=h_2)
"ponto3"
P_3=P_4
h_3=Enthalpy(R245fa,T=T_3,P=P_3)
"ponto4"
x_4=0
h_4=Enthalpy(R245fa,T=T_4,x=x_4)
P_4=Pressure(R245fa,T=T_4,x=x_4)
s_4=Entropy(R245fa,T=T_4,x=x_4)

"Ponto5s"
s_5s=s_4
P_5s=P_5
h_5s=Enthalpy(R245fa,P=P_5s,s=s_5s)
"rendimento isentropico da bomba"
n_b=(h_5s-h_4)/(h_5-h_4)
"ponto5"
P_5=P_1
T_5=Temperature(R245fa,P=P_5,h=h_5)
"eficiencia recuperador"
n_rec=0.7
n_rec=(T_6-T_5)/(T_2-T_5)
"n_rec=(T_2-T_3)/(T_2-T_5)"
"ponto6"
P_6=P_1
h_6=Enthalpy(R245fa,T=T_6,P=P_6)
"rendimento do ciclo"
n_ciclo=W_liq/Q_condensados
W_el=0.8*W_turbina
W_liq=W_el-W_bomba

```

## Modelação ORC gases de escape cogeração

```

n_T=0.7
n_b=n_T
T_4=40
W_el=0.8*W_turbina
W_liq=W_el-W_bomba
"balanco turbina"
W_turbina=m_dot*(h_1-h_2)
"balanco economizador"
h_2-h_3=h_6-h_5
"balanco condensador"
Q_fontefria=m_dot*(h_3-h_4)
"balanco bomba"
W_bomba=m_dot*(h_5-h_4)
"balanco fonte quente"
Q_arquente=m_dot*(h_1-h_6)
Q_arquente=m_arquente*cp*(T_10-T_11)
m_arquente=18.2
T_10=150
T_11=120
T_arquente_medio=(T_10+T_11)*0.5
P_arquente=100
cp=1.076
"ponto1"
T_1=T_10-10[C]
x_1=1
P_1=Pressure(R245fa,T=T_1,x=x_1)
h_1=Enthalpy(R245fa,T=T_1,x=x_1)
s_1=Entropy(R245fa,T=T_1,x=x_1)
"Ponto2s"
s_2s=s_1
P_2s=P_2
h_2s=Enthalpy(R245fa,P=P_2s,s=s_2s)
"rendimento isentropico da turbina"
n_T=(h_1-h_2)/(h_1-h_2s)
"ponto2"
P_2=P_4
T_2=Temperature(R245fa,P=P_2,h=h_2)
"ponto3"
P_3=P_4
h_3=Enthalpy(R245fa,T=T_3,P=P_3)
"ponto4"
x_4=0
h_4=Enthalpy(R245fa,T=T_4,x=x_4)
P_4=Pressure(R245fa,T=T_4,x=x_4)
s_4=Entropy(R245fa,T=T_4,x=x_4)
"Ponto5s"
s_5s=s_4
P_5s=P_5
h_5s=Enthalpy(R245fa,P=P_5s,s=s_5s)
"rendimento isentropico da bomba"
n_b=(h_5s-h_4)/(h_5-h_4)
"ponto5"
P_5=P_1
T_5=Temperature(R245fa,P=P_5,h=h_5)
"eficiencia recuperador"
n_rec=0.7
n_rec=(T_6-T_5)/(T_2-T_5)
"ponto6"
P_6=P_1
h_6=Enthalpy(R245fa,T=T_6,P=P_6)
"rendimento do ciclo"
n_ciclo=W_liq/Q_arquente

```



## Modelação turbina a vapor (Solução 1)

P_1=2000	n_T=0.6
h_1=Enthalpy(Water,x=x_1,P=P_1)	n_T=(h_1-h_2)/(h_1-h_2s)
s_1=Entropy(Water,x=x_1,P=P_1)	x_2=Quality(Water,h=h_2,P=P_2)
x_1=0.97	m_vap_10=1*1000/3600
P_2=1100	m_vap_3=1.6*1000/3600
T_1=Temperature(Water,x=x_1,P=P_1)	m_vap_7=6*1000/3600
T_2=Temperature(Water,h=h_2,P=P_2)	m_vap=m_vap_10+m_vap_3+m_vap_7
s_2s=s_1	m_vap=1*1000/3600
P_2s=P_2	W_turb=m_vap*(h_1-h_2)
h_2s=Enthalpy(Water,P=P_2s,s=s_2s)	W_ele=W_turb*0.8

## Modelação turbina a vapor (Solução 2)

n_T=0.6	x_2=Quality(Water,h=h_2,P=P_2)
m_vap_2=1*1000/3600	P_3=800
m_vap_3=0*1000/3600	s_3s=s_1
P_1=2000	P_3s=P_3
h_1=Enthalpy(Water,x=x_1,P=P_1)	h_3s=Enthalpy(Water,P=P_3s,s=s_3s)
s_1=Entropy(Water,x=x_1,P=P_1)	n_T=(h_1-h_3)/(h_1-h_3s)
x_1=0.95	T_3=Temperature(Water,h=h_3,P=P_3)
T_1=Temperature(Water,x=x_1,P=P_1)	x_3=Quality(Water,h=h_3,P=P_3)
P_2=1100	m_vap_1=m_vap_2+m_vap_3
s_2s=s_1	W_turb_1=(m_vap_2+m_vap_3)*(h_1-h_2)
P_2s=P_2	W_turb_2=(m_vap_3)*(h_1-h_3)
h_2s=Enthalpy(Water,P=P_2s,s=s_2s)	W_turb=W_turb_1+W_turb_2
n_T=(h_1-h_2)/(h_1-h_2s)	W_ele=W_turb*0.8
T_2=Temperature(Water,h=h_2,P=P_2)	

## Modelação turbina a vapor (Solução 3)

P_1=2000	h_2s=Enthalpy(Water,P=P_2s,s=s_2s)
h_1=Enthalpy(Water,x=x_1,P=P_1)	n_T=0.6
s_1=Entropy(Water,x=x_1,P=P_1)	n_T=(h_1-h_2)/(h_1-h_2s)
x_1=0.95	x_2=Quality(Water,h=h_2,P=P_2)
P_2=800	m_vap=6*1000/3600
T_1=Temperature(Water,x=x_1,P=P_1)	W_turb=m_vap*(h_1-h_2)
T_2=Temperature(Water,h=h_2,P=P_2)	W_ele=W_turb*0.8
s_2s=s_1	
P_2s=P_2	

# Anexo B: ElectraTherm

## B.1 Ficha técnica do equipamento



### POWER+ GENERATOR™

ElectraTherm's Power+ Generator™ produces fuel-free, emission-free power from low grade waste heat using the Organic Rankine Cycle (ORC) and proprietary technology. The company's proven, patented twin screw expander enables its heat-to-power generating system to make electricity from waste heat instead of fossil fuel. ElectraTherm's Power+ Generator™ represents a dramatic change from radial or axial turbine technologies, providing a more cost efficient, robust machine to generate fuel-free and emission-free electricity from a variety of heat sources.

ElectraTherm's twin screw expander offers distinct advantages for small-scale ORCs. These advantages include a simple and compact design, low speed operation with the ability to handle heat input variations and dual phase flow of the working fluid, significant part load capability, no gear box or oil pump, attractive payback and proven technology.

#### 4400 Power+ CONFIGURATIONS - Up to 65kWe

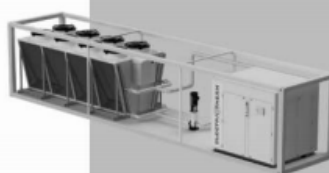
ElectraTherm's Power+ Generator™ is available in two configurations:

##### 4400 Stand Alone Specifications



- Dimensions: 2.4 x 2.0 x 2.3 m
- Weight: 3,600 kg / 7,920 lbs
- Customizable balance of plant
- Indoor or outdoor installation
- Manufacturer's Suggested Retail Price: \$192,953

##### 4400-FL Specifications



- Dimensions: 12 x 2.4 x 2.9 m
- Weight: 9,400 kg / 20,680 lbs
- Turnkey inc. liquid loop radiator, all piping/pumps, no concrete foundation required, minimal engineering
- Manufacturer's Suggested Retail Price: \$292,038

#### HEAT TO POWER APPLICATIONS

ElectraTherm generates electricity from various heat sources, including:



Stationary Engines



Biomass/Biogas



Boilers & Process Heat



Oil & Gas, Geothermal



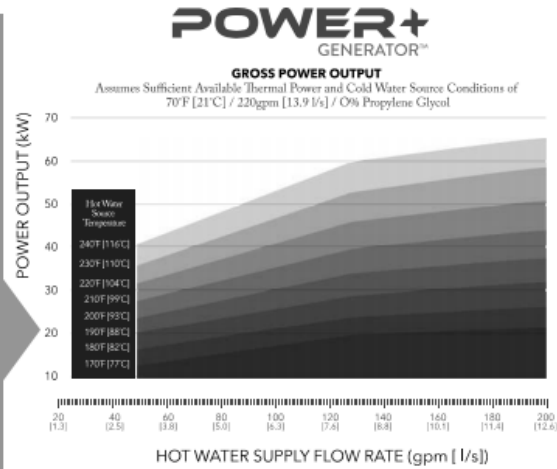
Solar Thermal

## 4400 PERFORMANCE PARAMETERS - Up to 65kW<sub>e</sub>

ElectraTherm's Water Cooled Condensing System Performance

4400

Hot Water Input Parameters	Hot water input temp range	°F	170 - 240
		[ °C ]	[ 77 - 116 ]
	Thermal input range	MMBTU/hr	1.37 - 2.94
		[ kWth ]	[ 400 - 860 ]
Water Cooled Condensing Parameters	Flow rate range	gpm	50 - 200
		[ l/s ]	[ 3.2 - 12.6 ]
	Cooling water input temp range	°F	40 - 150
		[ °C ]	[ 4 - 65 ]
Liquid Loop Radiator (LLR)*	Heat rejected to cooling water range	MMBTU/hr	1.30 - 2.72
		[ kWth ]	[ 380 - 795 ]
	Cooling water flow rate	gpm	220
		[ l/s ]	[ 13.9 ]
*4400-FL Only	LLR approach to ambient air temp	°F	20
		[ °C ]	[ 11 ]
	Heat rejected to LLR	MMBTU/hr	1.30 - 2.72
		[ kWth ]	[ 380 - 795 ]



### PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Nominal Rating	Up to 65kW <sub>e</sub> @ 380 - 500V / 3 phase / 50 & 60 Hz
Ambient Operation	0°C - 38°C (32°F - 100°F)*
Power Factor Correction	Load and Site Dependent - from 0.9 to 1
Total Harmonic Distortion	2% for Voltage; 10% for Current
Emissions	Zero (Closed Binary Cycle)

### DESIGN ATTRIBUTES

Refrigerant Plumbing	Built to ASME and CE Standards
Energy Block	Twin Screw Expander
Generator	Grid-Tied Induction (Brushless Construction, Asynchronous)
Heat Exchangers	Compact, Brazed Plate Construction
Design Life	20 Years
Lubrication	Process Lubrication
Transient Voltage/ Surge Suppression	Basic Protections are Standard
Grid Protective Relay (GPR)	External Additional GPR Interface Included

### SYSTEM DESCRIPTION

Working Fluid	R245fa (Pentafluoropropane)***
Heat Source	Hot Water 77°C - 116°C (170°F - 240°F)
Cooling Requirement	Water 4°C - 65°C (40°F - 150°F)
Controls	Custom Controls Software using Standard Programmable Logic Controller
Remote Monitoring	Will Support Internet Protocol, 3G Cellular, Satellite Communications, Wireless
Operation	Designed for Unattended Operation
Cabinet	NEMA 3R Outdoor Rated /IP 54 Compliant
Shipping	Ships from Reno, NV, USA
Dimensions	Various Configurations Available (see first page)
Weight	Various Configurations Available (see first page)
Sound Pressure	80db at 1 meter. Sound Attenuated Option: <72db at 1 meter

### FEATURES INCLUDE:

- Automated Control System
- Remote Monitoring
- Low Maintenance
- Modular and Scalable
- Robust, Twin Screw Expander Power Block
- CE Certified
- Zero Emissions, Zero Toxic By-products and Zero Fossil Fuel Requirements
- Dual-Heat Stream Input + Radiator Option Available



ElectraTherm, Inc. - 4750 Turbo Circle Reno, Nevada 89502 USA  
P: +01 775-398-4680 - Toll Free: 1-877-883-7101 - [www.electratherm.com](http://www.electratherm.com)



## Hot Water Conditions

Thermal Power Calculation 1	
Temperature at Inlet	150.0 °C
Temperature at Outlet	130.0 °C
Mass flow	18.2 kg/s
Chemical Composition:	Air
cpm	1.010 kJ/kg*K
Thermal Power 1	367.6 kWt

Thermal Power Calculation 2	
Temperature at Inlet	150.0 °C
Temperature at Outlet	120.0 °C
Mass flow	18.2 kg/s
Chemical Composition:	Air
cpm	1.010 kJ/kg*K
Thermal Power 2	551.5 kWt

Thermal Power Calculation 3	
Temperature at Inlet	116.0 °C
Temperature at Outlet	106.0 °C
Mass flow	3.0 kg/s
cp	4.230 kJ/kg*K
Thermal Power 3	126.9 kWt

Thermal Power Calculation 4	
Temperature at Inlet	77.0 °C
Temperature at Outlet*	45.0 °C
Mass flow	1.6 kg/s
cp	4.185 kJ/kg*K
Thermal Power 4	214.3 kWt

\*assumed

## Weather Data / Cold Water Conditions

- Cold Water Inlet Temperature: 20°C
- Cold Water Inlet Temperature: 28°C (hot days)

## Project Description

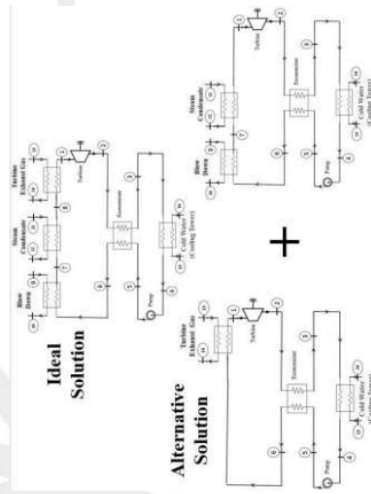
In the Continental – Mabor (Continental AG group) tire plant located in Portugal we have been studying the possibility of using low temperature heat sources for electricity production, through the use of an organic Rankine cycle.

We are now finishing a preliminary analysis and three heat sources were considered acceptable for further energy exploitation:

- A blow-down hot water mass flow rate of 1.6 kg/s at an average temperature of 77 °C;
- 3 kg/s of condensed steam at 175 kPa (absolute) at an average temperature of 116 °C that could be used until 106 °C;
- Hot exhaust gases from a heat recovery boiler. This boiler belongs to a CHP gas turbine plant burning natural gas. Typical exhaust gas composition is around 5.98 % CO<sub>2</sub>, 4.87 % H<sub>2</sub>O, 75.1 % N<sub>2</sub> and 14.05 % O<sub>2</sub> (all v/v). Its average mass flow rate is of 18.2 kg/s at 150 °C and we think that these gases could be cooled until 120-130 °C.

We are looking for a technological solution as shown in the attached image, i.e., a single Organic Rankine Cycle (ORC) using sequentially the three heat sources, or two ORS's, a smaller one using the blowdown water and the condensate and a second larger ORC using only the exhaust gases as the heat source.

For both solutions in the plant there is cooling water system supported by cooling towers and this cooling water leaves the cooling towers at about 20 °C, while in hot summer days it can go until 28 °C. This cooled water could be used in the ORC condenser.

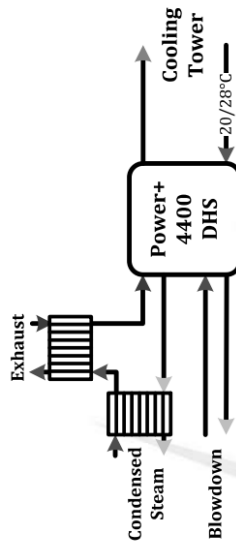


## Basic Layouts

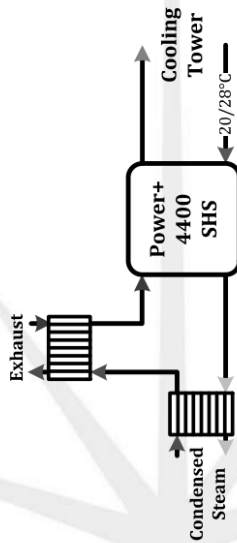
Please note: Check blowdown water quality

Please note: Dimensions for heat exchangers depending on required pinches and conditions

### Draft Concept for Case 1 and 2:



### Draft Concept for Case 3 and 4:



## Output Estimates\*\*

	HW in °C	HW out °C	HW flow l/s	CW in °C	CW flow* l/s
Case 1	116.0	95.3	5.9	20.0	13.9
Case 2	116.0	103.9	12.6	20.0	13.9
Case 3	112.5	74.0	3.2	20.0	13.9
Case 4	116.0	91.0	6.7	20.0	13.9

\* 40% propylene glycol

	HW in °C	HW out °C	HW flow l/s	CW in °C	CW flow* l/s
Case 1	116.0	95.3	5.9	28.0	13.9
Case 2	116.0	103.9	12.6	28.0	13.9
Case 3	115.2	77.0	3.2	28.0	13.9
Case 4	116.0	93.0	7.5	28.0	13.9

\* 40% propylene glycol

For case 1 & 2: Preheater load is 77°C, 1.6 l/s

P+ Net: Gross power minus internal parasitic loads

\*\*Consumed heat, rejected heat, and electrical output values are based on measured ElectraTherm propriety modeling data. This document is a guideline only, and the thermal error on heat consumed can be up to +/- 80kW.

†Assumes a cold water flow rate of 220 gpm/14 l/s

This document contains confidential and proprietary information and is supplied purely to enable the recipient to evaluate details concerning ElectraTherm products and services. No part of this document may be disclosed or transferred outside ElectraTherm or the current interested parties.

Copyright © ElectraTherm, Inc. 2015. All Rights Reserved.

Av. Thermal kWt	Con. Thermal kWt	Gross Power kWt	P+ Net kWt
708.8	669.2	52.0	47.2
892.6	814.2	61.8	54.9
494.5	494.0	39.0	36.0
678.4	675.0	55.0	50.0

Av. Thermal kWt	Con. Thermal kWt	Gross Power kWt	P+ Net kWt
708.8	638.5	47.4	42.9
892.6	777.4	59.6	53.0
494.5	494.0	37.0	34.0
678.4	677.0	54.0	49.0

## B.3 Proposta apresentada

June 19, 2015



**Proposal/offer: #100828** ElectraTherm, 4400 Standard Power+

**Project:** Sample Project #1b

**Heat:** Industrial Waste Heat

**Per ElectraTherm Online Project Evaluation Form:** none supplied.

**Continental Mabor – Indústria de Pneus, S. A.**

Daniel Tavares

(fax) +351 252 499 286

daniel.tavares-ext@conti.de

Dear Daniel,

Find in the following proposal ElectraTherm, Inc.'s quote for one (1) 4400 Standard Power+ To accept this offer, please add your Purchase Order Number to the box in the upper left quadrant and your signature to the space highlighted in yellow at the bottom left of the second page following this letter. Signatures of representatives of both Buyer and Seller below indicate binding acceptance of this quote inclusive of the terms & conditions, and scope of work, described in Sections 1 & 2 in pages immediately following this form.

Feel free to contact me with questions pertaining to the project and quote by email or by telephone at 775-398-4680, extension 106.

Sincerely,

ElectraTherm, Inc.

Rob Emrich

Vice President of Sales

remrich@electratherm.com

4750 Turbo Circle • Reno, NV 89502 • [P] 775-398-4680 • [F] 775-398-4672



4750 Turbo Circle, Reno, NV 89502 USA - Phone: +1(775)398-4680

CUSTOMER P.O. NO.	07/19/2015	QUOTE EXPIRES ON
SOLD TO PHONE NO.	+351 252 499 286	SOLD TO FAX NO.

SO  
LD  
TO

Continental Mabor – Indústria de Pneus, S. A.  
Rua Adelino Leitão nº 330  
Apartado 5,028  
4764 – 906 EC LOUSADO  
PORTUGAL

S  
H  
I  
P  
T  
O

(To Be Determined)

Continental Mabor – Indústria de Pneus, S. A.  
is required to ship from Port to site.

B  
I  
L  
L  
T  
O

Continental Mabor – Indústria de Pneus, S. A.  
Rua Adelino Leitão nº 330  
Apartado 5,028  
4764 – 906 EC LOUSADO  
PORTUGAL

LINE	PART ID CUSTOMER PART ID	DESCRIPTION	DWG REV	EON	ORDER QUANTITY BALANCE DUE	U/M	UNIT PRICE EXTENDED PRICE	PRICE CODE	TAX CODE DISC %	VAT
1,00	4400 Standard Power+	P.O. Acceptance Signature, Daniel Tavares P.O. Acceptance Date			1	EA	192,953,00 192,953,00		N	
2,00	Start-up and Commissioning				1	EA	2,927,00 2,927,00		N	
3,00	Refrigerant	P.O. Acceptance Signature, Rob Emrich P.O. Acceptance Date			1	EA	5,500,00 5,500,00		N	
4,00	Refrigerant Bottle Deposit (Refundable, minus any late fees, upon return of cylinder)				1	EA	2,820,00 2,820,00		N	
5,00	* Shipping Estimate to Nearest Port				1	EA	8,000,00 8,000,00		N	

\* This is a shipping estimate only. A final shipping quote will be revised & obtained 10 days before scheduled ship date

THE MATERIAL LISTED IS QUOTED PER THE PLANS AND SPECS PROVIDED TO US, AND WHETHER SPECIFIED OR NOT, WILL BE SUBJECT TO THE ENGINEER'S APPROVAL.

SUBTOTAL	213,200,00	ORDER DEC AMOUNT	ORDER TAX AMOUNT	ORDER TAX AMOUNT 2	ORDER TAX AMOUNT 3	ORDER VAT	ORDER TOTAL	213,200,00
ORDER TAXER	FA	ORDER RESER	EU	ORDER TAX SR	Tentative assigned shipment date: (ElectraTherm will assign after receipt of signed P.O. & applicable deposit)			



refrigerant. This warranty does not cover corrosion resulting from the effects of physical or chemical properties of Direct Air, steam or the liquids or gases used in or in proximity of the equipment.

**Disclaimer:** Except as expressly set forth in this Section 7, and to the extent permitted by law, ElectraTherm disclaims all warranties, whether express, implied or statutory, including, without limitation, the implied warranties of merchantability, satisfactory quality, fitness for a particular purpose and non-infringement, and all warranties that may arise from course of dealing, course of performance or usage of trade. ElectraTherm neither assumes, nor authorizes any other Person to assume for it any other liability in connection with the products or the components, including, without limitation, liability arising out of the delivery or use of the products or the components.

8) Replaced Parts: Parts or Components of the Power+ Generator replaced under warranty are the property of ElectraTherm.

9) Certified Handlers: Buyer shall inform installers and operators that working fluid contains R245fa, a fluorinated greenhouse gas which is controlled by local and regional regulations. Handlers of the working fluid must be trained and certified in containment, recovery, and transfer of such materials.

10) ElectraTherm Start-up & Commissioning: ORC Start-up & commissioning includes 2 days of ElectraTherm engineer on site per Power+ Generator, including travel and expenses. Additional days are available for \$1200/day. ORC Start-up & commissioning does not include shipping of necessary tools and related items required for the ElectraTherm technician to complete the start-up & commissioning.

11) Installation: Buyer may subcontract with third parties the installation under written agreements with such third parties that

contain terms and conditions at least as protective of ElectraTherm as the terms and conditions set forth in the terms of this purchase documentation. Buyer will be responsible for any breach by a Third Party of the Third Party Agreement and any act or omission of any Third Party where such act or omission, if committed by Buyer, would be a breach of any obligation set forth in the terms of this purchase. Buyer will not enter into any legally binding obligations on behalf of ElectraTherm, or otherwise act on behalf or in the name of ElectraTherm.

#### 12) Service & Support:

**General:** ElectraTherm will provide standard ElectraTherm initial technical assistance to Owner regarding use of the Products,

including, without limitation, reasonable telephone, fax and e-mail support during ElectraTherm's normal business hours.

**Other Consulting Support:** At Owner's request and at the discretion of ElectraTherm, ElectraTherm may provide other support and consulting services on a time and material basis pursuant to a separate written agreement entered into between the parties.

**Warranty Service:** If a Product qualifies for warranty service, as defined in Section 7 above, Owner, or Owner's approved third party, is responsible to perform warranty service work. If a Product qualifies for warranty service, and requires ElectraTherm personnel to travel to the Customer installation site to affect warranty service, ElectraTherm will pay for such travel and expense unless the "warranty" work is found to not be a true warranty issue. If the "warranty" work is found to be caused by misuse, abuse, faulty repair, lack of required maintenance, alteration etc., or is otherwise outside the scope of ElectraTherm's obligations, Owner will compensate ElectraTherm for such travel and other expenses plus work performed on-site based on ElectraTherm's standard rates at the time of service and only with Owners prior written approval. Owner's exclusive remedy and ElectraTherm's total liability for breach of



## SECTION 1: Terms & Conditions

### ElectraTherm Quote #100828

#### 4400 Standard Power+

(This Quote #100828 expires on July 19, 2015)

### Contingencies and Acceptance:

1) Definition: The terms "Buyer" and "Owner"

refer to Continental Mabor - Industria de Pneus, S.A., respectively as described in the Purchase Order, and terms and conditions.

2) Exhibits: A through C enclosed with the Proposal form an integral part of the Proposal.

a. Exhibit A: Example Power output estimate is currently shown in Exhibit A. A specific

Power output estimate will later be created based on final technical/site information provided by Buyer. Please notify

ElectraTherm with the final technical/site information for this project.

b. Exhibit B: Machine Drawings as currently designed. Subject to change or revision.

c. Exhibit C: Remote Monitoring information.

3) Shipping:

a. Ship Date: Shall be determined upon

ElectraTherm's receipt of deposit.

b. Remote Location: Additional charges for

shipment to remote locations may apply.

c. Point Of Origin: Product will ship from

ElectraTherm's place of manufacture: 4750

Turbo Circle Reno, NV 89502.

d. ElectraTherm will provide final shipping

quote, including insurance, 10 days prior to

shipment.

4) Terms & Conditions of Payment:

30%/70%. Per item #1 above, acceptance of

Quote is contingent on ElectraTherm's receipt

of 30% deposit. The balance of 70% is due

prior to shipment.

5) Access to Equipment: Buyer shall provide

access to equipment to ElectraTherm

representatives for inspections and warranty

work.

6) Remote Monitoring employing local area network is required for warranty and included in the price of the Product during the warranty period at no additional charge. Cellular or Satellite options for remote monitoring are available for additional cost upon request. (See Exhibit C, below.)

7) Warranty: ElectraTherm warrants that (a) for two (2) years from commissioning, or for two (2) years from one hundred and fifty (150) days after shipment ex-works, whichever comes first, Products sold hereunder will function in accordance with ElectraTherm's standard specifications for the Products, (b) ElectraTherm further warrants that for three (3) years or twenty thousand (20,000) hours from commencement of the Product warranty above, whichever comes first, the Power-Block component, "the expander", will function in accordance with ElectraTherm standard specifications for the expander and per the following terms of this Section 7 as if the expander were "Product", and (c) Products sold to Buyer. Unless otherwise agreed in writing by the Parties, (i) the warranty in "(a)" above will apply only to Product for which Customer has enabled and provides internet access through which ElectraTherm will remotely monitor the Product, the cost of such monitoring exclusive of internet access to be borne by ElectraTherm during the warranty period. This warranty is extended to Owner.

The warranties set forth in this Section 7 will not apply to: (a) any "Third Party Product", whether or not such "Third Party Product" is provided by ElectraTherm; (b) any Products that have been modified, repaired or altered, except by ElectraTherm, or with prior consent of ElectraTherm; (c) any Products which have not been properly installed or maintained in accordance with any handling or operating instructions supplied by ElectraTherm; or (d) any Products that have been subjected to physical or electrical stress, misuse, abuse, negligence or accidents. In no case will ElectraTherm be responsible to replace

This document contains confidential and proprietary information and is supplied purely to enable the recipient to evaluate details concerning ElectraTherm products and services. No part of this document may be disclosed or transferred outside ElectraTherm or the current interested parties.

WWW.ELECTRATHERM.COM

Copyright © ElectraTherm, Inc. 2015. All Rights Reserved.

WWW.ELECTRATHERM.COM

Copyright © ElectraTherm, Inc. 2015. All Rights Reserved.



ElectraTherm will suffer irreparable harm in the event that Buyer and Owner breaches any of its obligations under this Section 15 and that monetary damages will be inadequate to compensate ElectraTherm for such breach.

- 16) Software Provisions: ElectraTherm grants Buyer nonexclusive, royalty free license to software provided hereunder to use the software solely for its own business operations solely on the designated Product in accordance with any limitations specified or referenced in the applicable operations documentation. This license may not be assigned, sublicensed or otherwise transferred by Buyer without ElectraTherm's prior consent. Buyer recognizes and acknowledges that software comprises valuable trade secrets and/or copyright property of ElectraTherm (or its licensor) and buyer covenants that it will take adequate precautions against access to the software by, or disclosure of the software to, anyone not authorized hereunder to use or have access to the software. ElectraTherm and its licensors retain full rights, title, interest, and ownership in and to the Licensed Software and Software Documentation, including all patents, copyrights, trade secrets, trade names, trademarks, and other intellectual property rights in and to the Licensed Software and Software Documentation. The Licensed Software and Software Documentation is licensed and not sold.

- 17) **LIMITATION OF LIABILITY.** In no event will ElectraTherm be liable to and buyer hereby waives any claims against, and releases ElectraTherm from any indirect, special, incidental, consequential or punitive damages, or any damages for loss of profits, revenue, business, savings, downtime, data or use of equipment, facilities or services incurred by Buyer or any third party. This Limitation does not apply to claims for personal injury caused by a product defect for which ElectraTherm is responsible under applicable law. ElectraTherm's aggregate liability will be limited to the greater of \$2,000,000 or the amount that ElectraTherm's insurance carriers actually reimburse ElectraTherm for any such liability.

**Quote is CONFIDENTIAL INFORMATION of ElectraTherm, Inc.**



any warranty under this Agreement and any and all losses and damages arising out of any cause related to the Products will be the repair, replacement or refund of the amount paid by Owner for such Product.

- 13) Refrigerant Cylinders: In the event ElectraTherm supplies refrigerant, ElectraTherm will ship refrigerant to the installation site specified by Buyer upon receipt of payment for refrigerant and shipping of refrigerant. Buyer must return refrigerant cylinders within 90 from date of shipment, or Buyer will be responsible for payment of refrigerant cylinder rent and late fees issued thereafter by the refrigerant manufacturer.

- 14) Environmental Considerations: Buyer will contact ElectraTherm regarding design considerations if the Power+ Generator is to be placed in an area that is exposed to:

- Explosive gases
- Caustic gases or solutions
- Extreme or harsh environmental conditions including
  - High ambient environment
  - Extreme cold environment
  - Marine / Coastal environments

- 15) Confidentiality of ElectraTherm Information: "Confidential Information" will mean any information disclosed by ElectraTherm to Buyer and Owner, or developed by Buyer and Owner, regarding the Products, proposed new Products or other information related to ElectraTherm's or its suppliers' technology or business that Buyer and Owner, knows, or should know in light of the circumstances under which such information is disclosed, is ElectraTherm's confidential or proprietary information. Notwithstanding the previous sentence, information will not be deemed Confidential Information to the extent that Buyer and Owner, can document that such information: (a) was generally known and available in the public domain at the time it was disclosed or

subsequently becomes generally known and available in the public domain through no act or omission of Buyer and Owner; (b) was known to Buyer and Owner, at the time of disclosure without restrictions on use or disclosure; (c) was independently developed by Buyer and Owner without any use of the Confidential Information; or (d) becomes known to Buyer and Owner without restrictions on use or disclosure, from a source other than ElectraTherm without breach of this Agreement by Buyer and Owner and is otherwise not in violation of ElectraTherm's rights.

Buyer and Owner agree to use the Confidential Information solely for purposes of performing obligations and/or exercising rights under terms of this Purchase and for no other purpose, and will not disclose to any third party any Confidential Information without the prior written consent of ElectraTherm. Buyer and Owner

acknowledge that the terms and conditions of this Agreement will be deemed the parties' Confidential Information. Buyer and Owner acknowledge and agree that the Products and Components are proprietary to ElectraTherm and that ElectraTherm (or its suppliers) retain exclusive ownership of all Intellectual Property Rights embodied in or relating to the Products and Components. Buyer and Owner will take all reasonable measures to protect ElectraTherm's Intellectual Property Rights in any Product or any Component thereof. Except as expressly set forth in this Agreement, Buyer and Owner are not granted any rights or license to any Intellectual Property Rights with respect to any Product or any Component thereof. Buyer and Owner may disclose the Confidential Information only to their employees and legal counsel as is reasonably necessary to allow Buyer and Owner to perform the purchase, installation and service and to obtain the benefits thereof, provided that each such employee is under a written obligation of nondisclosure which protects the Confidential Information under terms substantially similar to those herein. Buyer and Owner understand and agree that



- 2) Installation services and Equipment: including but not limited to,
  - a. Site engineering or design
  - b. Site preparation, including but not limited to soil preparations, concrete pads, other footings, foundations or equipment stands.
  - c. Piping, fittings, pumps, valves (etc.) or electrical wiring, cables or components external to the Power+, albeit required to interface with site inflow or output of heat or electrical power.
  - d. Heat exchange devices outside the dimensions of the Power+ (i.e., condenser, intermediary heat exchanger, etc.,)
  - e. Grid Protection Relay and Interconnection as required
  - f. Installation Labor
  - g. Permits & Licenses
  - h. Insulation, isolation or anti-freeze protection
  - i. Additional sound attenuation not offered by ElectraTherm Quote
  - j. Internet Connection required for remote monitoring of equipment performance.
  - k. Shipment or delivery from dock, unloading at delivery and/or installation site, and any related storage
  - l. Import fees, taxes, customs, duty or storage charges
  - m. Return of R245fa cylinders.
- 3) Series 4000 Power+ Generator Internet Connection and Specifications:
  - i. Completely independent of onsite existing network firewalls, VPN's, etc.
  - ii. Programmable Specifications: for preparation of the Power+ router prior to shipping. (See specs. in Exhibit C below)
  - iii. Network testing completed as part of site installation, prior to scheduling site commissioning and start-up.

This document contains confidential and proprietary information and is supplied purely to enable the recipient to evaluate details concerning ElectraTherm products and services. No part of this document may be disclosed or transferred outside ElectraTherm or the current interested parties.

[WWW.ELECTRATHERM.COM](http://WWW.ELECTRATHERM.COM)

Copyright © ElectraTherm, Inc. 2015. All Rights Reserved.



## SECTION 2: Scope of Supply

### ElectraTherm Scope of Supply:

- 1) Specifications & Documents:
  - a. Example Power Output Estimate: ElectraTherm currently provides a non-binding, Example estimate of gross and net power output, heat balance, and single line drawings shown in Exhibit A. ElectraTherm will later provide a specific Power Output Estimate for this project, dependent on Buyer provided heats, flows, ambient and condensing conditions, and other project specifications. Please notify ElectraTherm with the final technical/site information for this project.
  - b. Installation Drawings: ElectraTherm equipment dimensions, hot water-in and condenser interface, are supplied herein Exhibit B of this quote. All drawings are subject to change without notice and **Buyer** should request updated installation guidance and drawings from ElectraTherm's Service Team prior to initiating installation.
- 2) Equipment: Series 4000 Power+ Generator (ORC), assembled
  - a. Good Title
  - b. Major components inside the cabinet, or within the exterior dimensions as described in the Installation Drawings, include:
    - i. Evaporator
    - ii. Pre-heater
    - iii. Induction Generator
    - iv. Power Factor Correction Capacitors
    - v. Working Fluid Pump
    - vi. Working Fluid Reservoir
    - vii. Twin-Screw Expander
    - viii. Internal to the Cabinet Endcuse: Piping, Joints, Valves, and Fittings required for the successful factory test and operation of the ORC.
    - ix. 2 Integrated Control Panels with HMI touchscreen
    - x. Cabinet Enclosure, NEMA 3R rating
  - c. Software available for License by end-user customer
  - d. Interface access as described in the Installation Drawings
  - e. Factory Test and Inspection, at ElectraTherm's place of manufacture.
  - f. Loading of Equipment at place of manufacture to Common Carrier
  - g. Charging of Equipment with Working Fluid
  - h. Working fluid: R245fa and lubrication oil.
  - i. Shipment from manufacturer's dock to Port

### Buyer Scope of Supply:

- 1) Temperatures & Flows for expanding and condensing as minimally described in the data provided by the Buyer, integrated herein as Exhibit A.

This document contains confidential and proprietary information and is supplied purely to enable the recipient to evaluate details concerning ElectraTherm products and services. No part of this document may be disclosed or transferred outside ElectraTherm or the current interested parties.

[WWW.ELECTRATHERM.COM](http://WWW.ELECTRATHERM.COM)

Copyright © ElectraTherm, Inc. 2015. All Rights Reserved.

# ELECTRA THERM 4400

Inputs

Imperial Units

Please type "F" or "C" for your temperature scale.  
Hot Water Inlet Temperature  
Hot Water Flow Rate  
Jacket Water Thermal Power  
Exhaust Gas Thermal Power  
Cold Water Inlet Temperature  
Electrical Grid Frequency\*  
50

4400

Evaluation

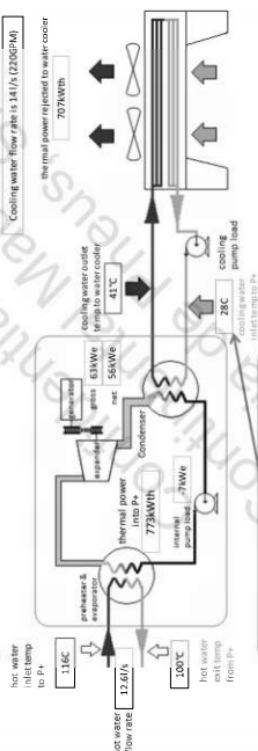
--> Click Here to Calculate -->

--> Release Notes <

Average Estimated Outputs \*\*

T/F °C units below based on HW inlet temperature units  
63 kWt  
-7 kWt  
56 kWt  
773 kWth  
127 kWth  
707 kWth  
300 °C  
41 °C  
Cooling water flow rate is 14 1/2 (220GPM)

Gross Power Output  
P+ Internal Parasitic Load  
P+ Net Power Output  
Thermal Power into P+  
Remaining Thermal Power  
Thermal Power Rejected to Cooler  
Hot Water Exit Temperature  
Cold Water Exit Temperature



The temperature within this system is the "Cooling Water Inlet Temperature". This is NOT the ambient air temperature. It will typically be higher than the ambient air temp. If estimating output for a Turnkey Green Machine from ElectraTherm, assume the water temperature to be 20°F (11°C) higher than ambient air temperature for ambient air temps less than 85°F (30°C).

This output estimate tool expires in 5 days -  
Please log into the ElectraTherm Distributor Portal to retrieve a new file  
when this tool expires.  
www.electratherm.com

\*\* Consumed heat, rejected heat, and electrical output values are based on proprietary modeling data. This document is a guideline only, and the thermal error on heat consumed can be up to +/- 800W.  
Assumes a cold water flow rate of 220 gpm (7.4 ft³/min).  
This document contains confidential and proprietary information and is supplied purely to enable the recipient to evaluate the system. It is not to be used for any other purpose. The recipient agrees to keep this information confidential and to return it to ElectraTherm or the current interested parties.  
Copyright © ElectraTherm, Inc. 2015. All Rights Reserved.



EXHIBIT B

## ET-50-4000-005 Water Cooled Green Machine Engineering Drawings

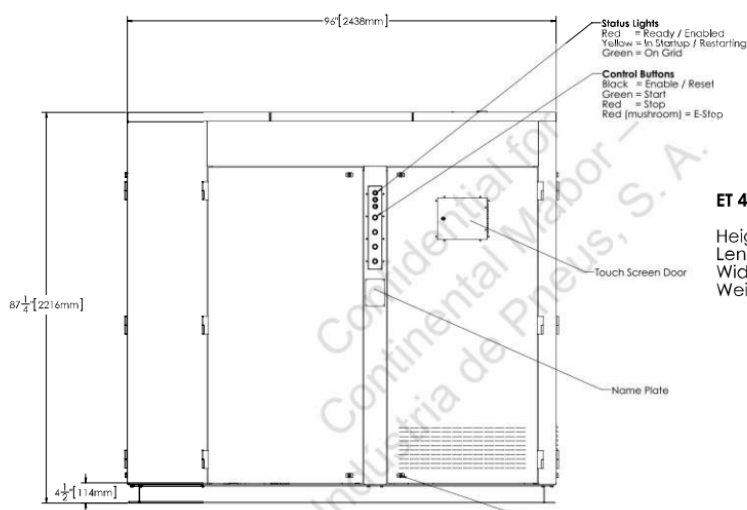
### Table of Contents:

Drawing #	Drawing Title	# pages	Drawing description
ETS-90087	Series 4000, Water, CE	4	Water Cooled Green Machine drawings
ETS-90079	Detail, Mounting, ET-50-4000, 004	1	Green Machine Footprint drawing, with Green Machine weights for footing / concrete design
ETS-90016	Detail, Bypass, Hot Water	1	Hot Water Bypass Drawing
ETS-90018	Diagram, 1-Line, Intrcnct, Water Cooled	1	1 Line electrical interconnect drawing representative of typical air cooled Green Machine installation
ETS-90081	P&ID, WaterCondensing, ET 4000-005	4	Piping and Instrumentation Diagram and Electrical 1-Line drawings, Water Cooled
ETS-90088	Diagram, Cust Connection, Terminal Block 005	1	Terminal Strip Connection diagram for connecting Client controls to Green Machine

EXHIBIT B



Drawing #	Drawing Title	# pages
ETS-90087	Series 4000, Water, CE	4



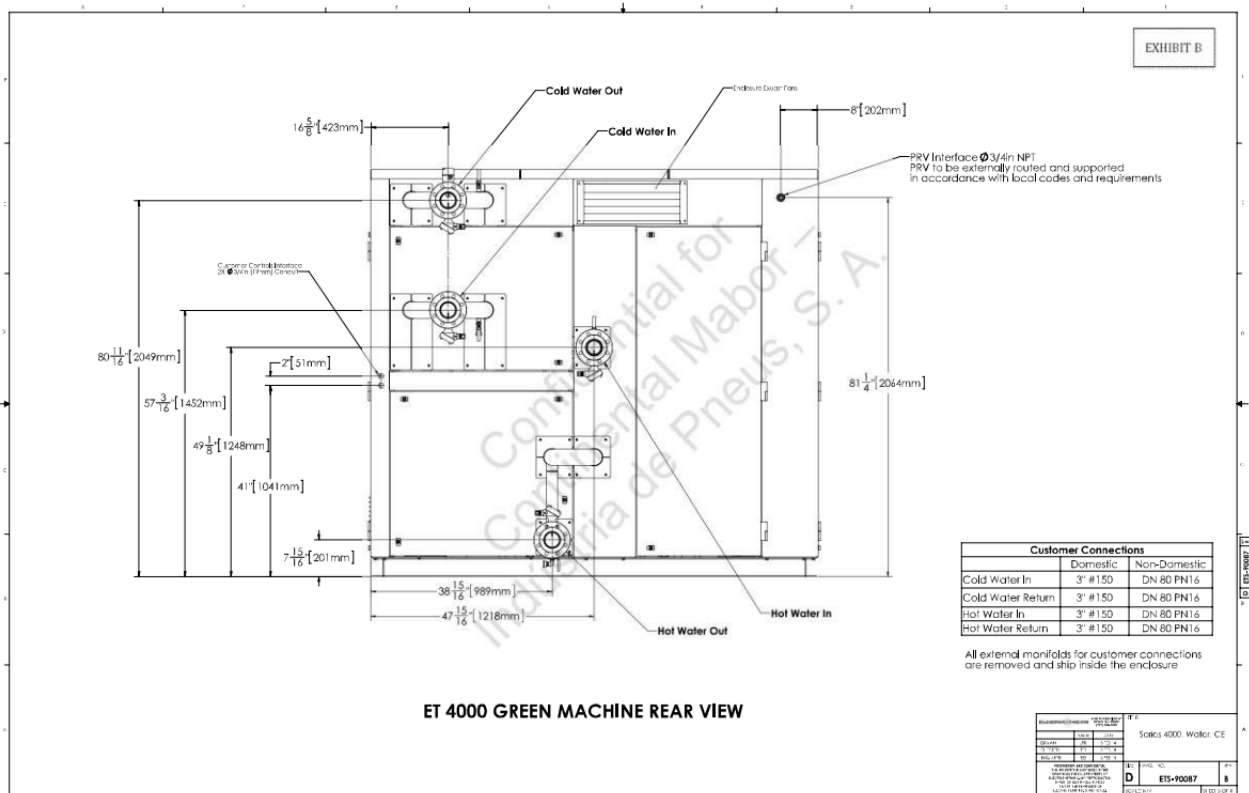
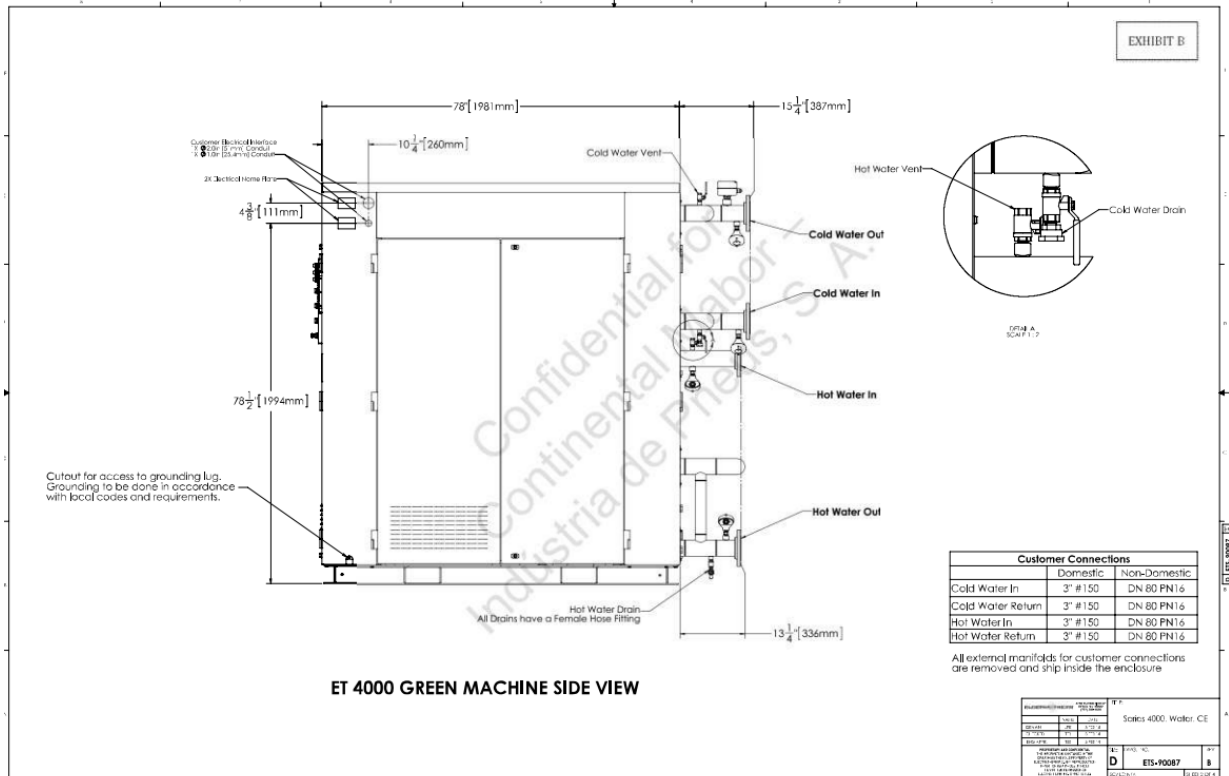
ET 4000 GREEN MACHINE OVERALL

Height = 87 1/4" [2216 mm]  
 Length = 78" [1981 mm]  
 Width = 96" [2438 mm]  
 Weight = 7245 Lbs [3290 kg]

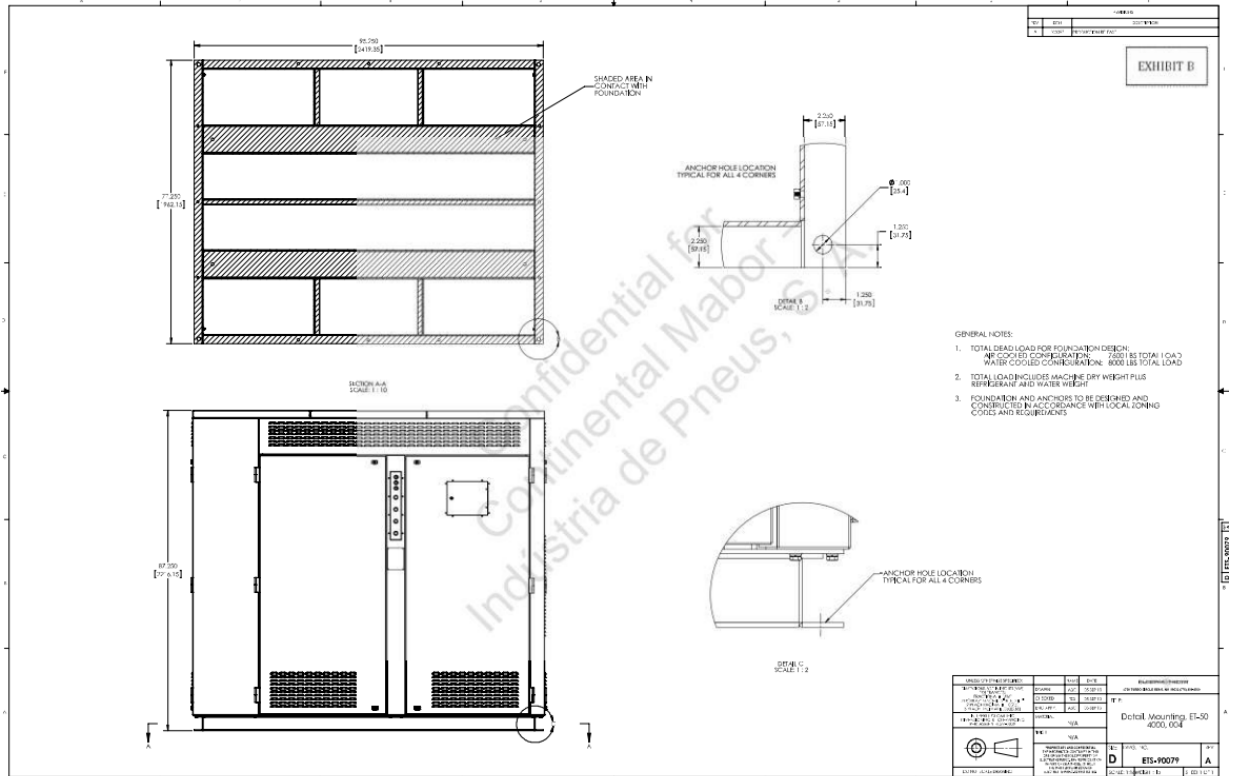
ET 4000 GREEN MACHINE FRONT VIEW

REVISIONS	DATE	BY	APPROVED
1	01/11/2017	01	01/11/2017
2	01/11/2017	01	01/11/2017
3	01/11/2017	01	01/11/2017
4	01/11/2017	01	01/11/2017
5	01/11/2017	01	01/11/2017
6	01/11/2017	01	01/11/2017
7	01/11/2017	01	01/11/2017
8	01/11/2017	01	01/11/2017
9	01/11/2017	01	01/11/2017
10	01/11/2017	01	01/11/2017
11	01/11/2017	01	01/11/2017
12	01/11/2017	01	01/11/2017
13	01/11/2017	01	01/11/2017
14	01/11/2017	01	01/11/2017
15	01/11/2017	01	01/11/2017
16	01/11/2017	01	01/11/2017
17	01/11/2017	01	01/11/2017
18	01/11/2017	01	01/11/2017
19	01/11/2017	01	01/11/2017
20	01/11/2017	01	01/11/2017
21	01/11/2017	01	01/11/2017
22	01/11/2017	01	01/11/2017
23	01/11/2017	01	01/11/2017
24	01/11/2017	01	01/11/2017
25	01/11/2017	01	01/11/2017
26	01/11/2017	01	01/11/2017
27	01/11/2017	01	01/11/2017
28	01/11/2017	01	01/11/2017
29	01/11/2017	01	01/11/2017
30	01/11/2017	01	01/11/2017
31	01/11/2017	01	01/11/2017
32	01/11/2017	01	01/11/2017
33	01/11/2017	01	01/11/2017
34	01/11/2017	01	01/11/2017
35	01/11/2017	01	01/11/2017
36	01/11/2017	01	01/11/2017
37	01/11/2017	01	01/11/2017
38	01/11/2017	01	01/11/2017
39	01/11/2017	01	01/11/2017
40	01/11/2017	01	01/11/2017
41	01/11/2017	01	01/11/2017
42	01/11/2017	01	01/11/2017
43	01/11/2017	01	01/11/2017
44	01/11/2017	01	01/11/2017
45	01/11/2017	01	01/11/2017
46	01/11/2017	01	01/11/2017
47	01/11/2017	01	01/11/2017
48	01/11/2017	01	01/11/2017
49	01/11/2017	01	01/11/2017
50	01/11/2017	01	01/11/2017
51	01/11/2017	01	01/11/2017
52	01/11/2017	01	01/11/2017
53	01/11/2017	01	01/11/2017
54	01/11/2017	01	01/11/2017
55	01/11/2017	01	01/11/2017
56	01/11/2017	01	01/11/2017
57	01/11/2017	01	01/11/2017
58	01/11/2017	01	01/11/2017
59	01/11/2017	01	01/11/2017
60	01/11/2017	01	01/11/2017
61	01/11/2017	01	01/11/2017
62	01/11/2017	01	01/11/2017
63	01/11/2017	01	01/11/2017
64	01/11/2017	01	01/11/2017
65	01/11/2017	01	01/11/2017
66	01/11/2017	01	01/11/2017
67	01/11/2017	01	01/11/2017
68	01/11/2017	01	01/11/2017
69	01/11/2017	01	01/11/2017
70	01/11/2017	01	01/11/2017
71	01/11/2017	01	01/11/2017
72	01/11/2017	01	01/11/2017
73	01/11/2017	01	01/11/2017
74	01/11/2017	01	01/11/2017
75	01/11/2017	01	01/11/2017
76	01/11/2017	01	01/11/2017
77	01/11/2017	01	01/11/2017
78	01/11/2017	01	01/11/2017
79	01/11/2017	01	01/11/2017
80	01/11/2017	01	01/11/2017
81	01/11/2017	01	01/11/2017
82	01/11/2017	01	01/11/2017
83	01/11/2017	01	01/11/2017
84	01/11/2017	01	01/11/2017
85	01/11/2017	01	01/11/2017
86	01/11/2017	01	01/11/2017
87	01/11/2017	01	01/11/2017
88	01/11/2017	01	01/11/2017
89	01/11/2017	01	01/11/2017
90	01/11/2017	01	01/11/2017
91	01/11/2017	01	01/11/2017
92	01/11/2017	01	01/11/2017
93	01/11/2017	01	01/11/2017
94	01/11/2017	01	01/11/2017
95	01/11/2017	01	01/11/2017
96	01/11/2017	01	01/11/2017
97	01/11/2017	01	01/11/2017
98	01/11/2017	01	01/11/2017
99	01/11/2017	01	01/11/2017
100	01/11/2017	01	01/11/2017

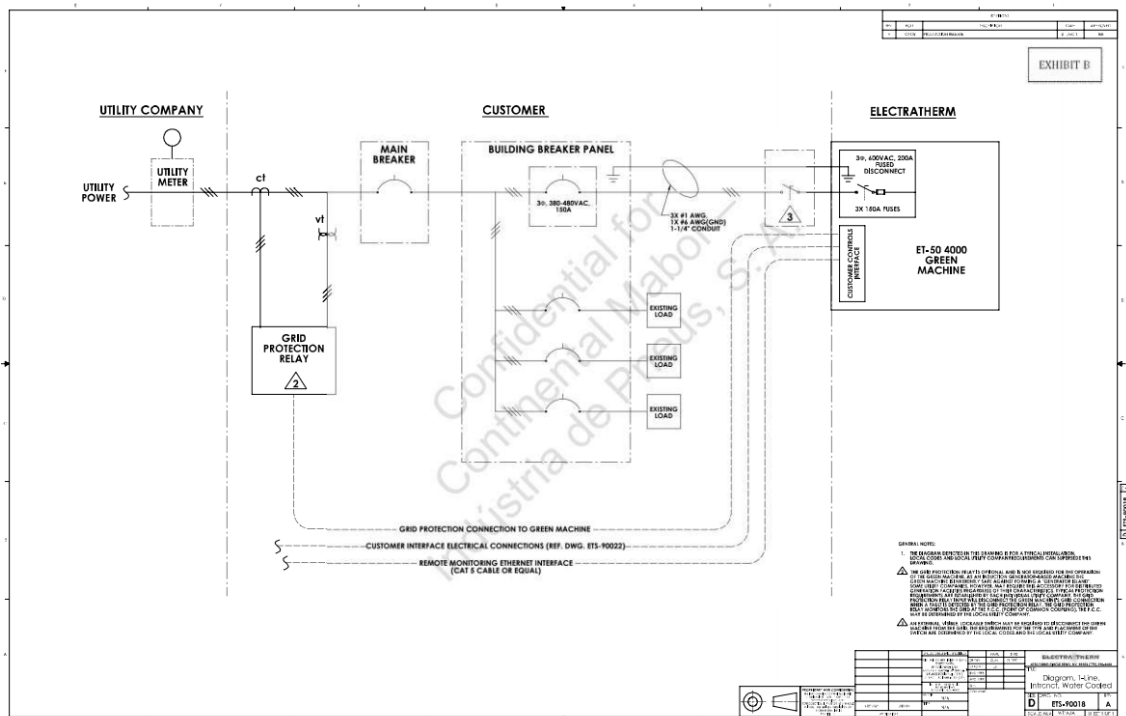












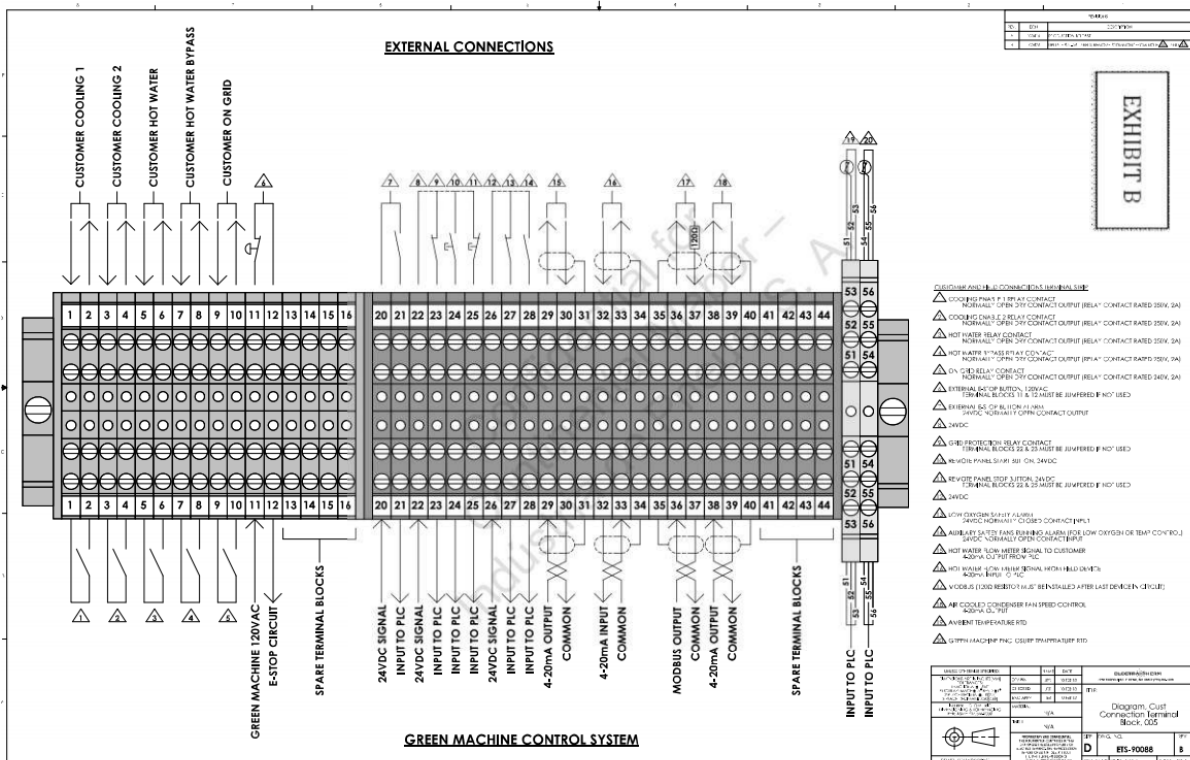




## EXHIBIT B



Drawing #	Drawing Title	# pages
ETS-90088	Diagram, Cust Connection, Terminal Block 005	1







## **Exhibit C**

### **Internet Connection & Power+ Generator™ Monitoring**

Virtually all operational questions can be answered by ElectraTherm service personnel through data provided by an Internet connection that links ElectraTherm to an installed Power+ Generator™-ORC™. Therefore, an Internet connection is a required for warranty and will save time and money for operators.

Each ORC contains an HMI and a PLC. Each of those requires a static IPv4 address to communicate with each other, and other PC clients on the LAN or Internet. A Power+ Generator connected to the Internet can:

1. Send email alerts of error conditions to ElectraTherm service personnel.
2. Upload daily run data to external FTP servers, which allow ElectraTherm service personnel to troubleshoot and optimize performance.
3. Download software and configurations updates sent by ElectraTherm service personnel.
4. Be remotely monitored and operated by ElectraTherm service personnel and other authorized users through a virtual HMI on connected PCs and iOS devices.

#### **In view of the above, and to qualify for warranty, please help us with the following:**

1. Reserve two IP addresses per Power+ Generator on the site's LAN without conflict to other devices.
2. Configure the network to allow each Power+ Generator to communicate over the public Internet at upload and download speeds of not less than 256Kbps.
3. Configure the network to upload email alerts and daily FTP data (unrestricted outbound traffic.)
4. Provide a fixed public IP address that can be configured with port-forwarding and/or VPN access that allows ElectraTherm service personnel to upload software updates, retrieve run data and monitor/control the Power+ Generator through a virtual HMI application.

#### **Prior to shipment, please provide ElectraTherm with:**

1. The LAN IPv4 address for each Power+ Generator's HMI.
2. The LAN IPv4 address for each Power+ Generator's PLC.
3. The LAN Gateway address and Subnet Mask.
4. Primary and secondary DNS Server addresses that enable the HMI to resolve for outbound email alerts and FTP uploads.
5. The fixed public Internet (WAN) address that ElectraTherm personnel will use to reach the HMI and PLC for run data requests, software updates and remote monitor/control.
  - a. At sites with a single Power+ Generator:
    - i. Configure TCP traffic on port 10180 to forward to the HMI's IPv4 LAN address. This enables the manual retrieval of Power+ Generator run data. Note – no machine control is possible through this port.
    - ii. TCP traffic on port 11102 should forward to the HMI's IPv4 address. This enables remote monitoring and control through the virtual HMI application. (Or, for a higher level of security, use VPN only access for this function.)
    - iii. TCP traffic on port 9999 should forward to the HMI's IPv4 address. This enables HMI software updates and configuration changes. (Or, for a higher level of security, use VPN only access for this function.)
    - iv. UDP traffic on port 28784 should forward to the PLC's IPv4 address. This enables control logic updates. (Or, for a higher level of security, use VPN only access for this function.)
  - b. Sites with multiple Power+ Generators require some adjustments to the single site configurations described above.

**Please direct required information or questions regarding Internet connectivity to:**  
**Fred Williams, Systems Manager, ElectraTherm at [fwilliams@electratherm.com](mailto:fwilliams@electratherm.com)**

Rev 20150406

CONFIDENTIAL

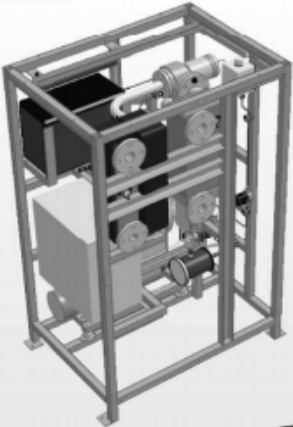
Initials: ET  
Participant

# Anexo C: Enogia

## C.1 Fichas técnicas dos equipamentos

### DATASHEET:

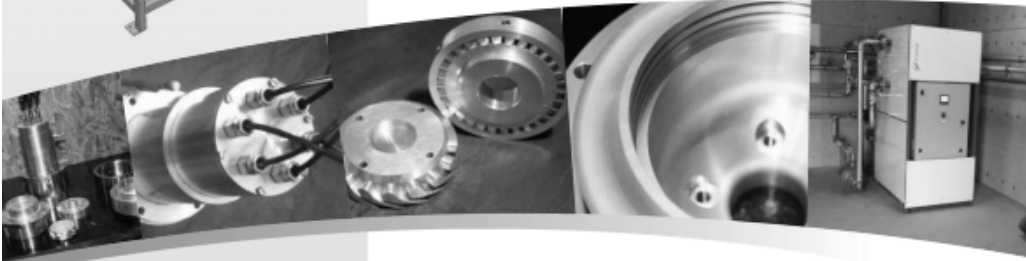
#### ENOGIA'S ENO-10LT ORC SYSTEM FACT SHEET



ENOGIA's ENO-10LT Low Temperature 10kW Organic Rankine Cycle module uses ENOGIA proprietary Organic Rankine Cycle (ORC) Turbo-Generator that was specifically designed for high reliability and low maintenance.

Unlike volumetric expanders, lubrication is oil free and there is no metal to metal contact ensuring no wear and highest MTBF.

The innovative hermetic architecture of the turbogenerator provides high performance and low maintenance, resulting in low operation costs.



ENOGIA, created in 2009 by four engineers, is specialized in the development of ORC modules.

The company has received several public research grants related to green energy solutions and sustainable development.

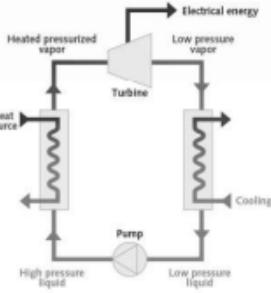
ENOGIA benefits from the label "Young innovative company" of the French Ministry of Research since 2010.

The company welcomed new private investors in 2012.

Since the beginning of 2014, ENOGIA is backed by a strategic partnership with IFP Energies Nouvelles, a major research and innovation center, which allows ENOGIA to broaden the power range of its turbines and widen the field of use of heat-to-power solutions.


ENOGIA's ENO-10LT Organic Rankine Cycle module is a complete, packaged unit, that includes all the components needed for a reliable and efficient heat to power conversion.

Installation is very simple : hot loop and cold loop are connected to the ORC with standard ISO PN16 flanges, electrical output is connected to the grid directly with the grid feed inverter, and communication with the fully automated control system is made via ethernet.



```
graph TD
    HS[Heat source] --> HPV[Heated pressurized vapor]
    HPV --> Turbine
    Turbine --> LPV[Low pressure vapor]
    LPV --> C[Cooling]
    C --> LPL[Low pressure liquid]
    LPL --> Pump
    Pump --> HPL[High pressure liquid]
    HPL --> HS
    Turbine --> EE[Electrical energy]
```

**ENOGIA ENO-10LT : your trusted partner for Low Temperature Heat to Power conversion !**

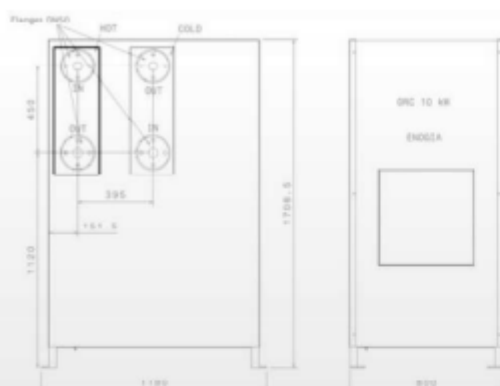


**ENOGIA**  
ENOGIA SAS  
51, rue Le Chatelier 13015 Marseille FRANCE  
T: +33 9 51 53 79 09 / Fax: +33 9 56 53 79 09  
info@enogia.com / www.enogia.com



## ENO-10 LT COMPLETE ORC MODULE

*Small and fully integrated ORC module !*



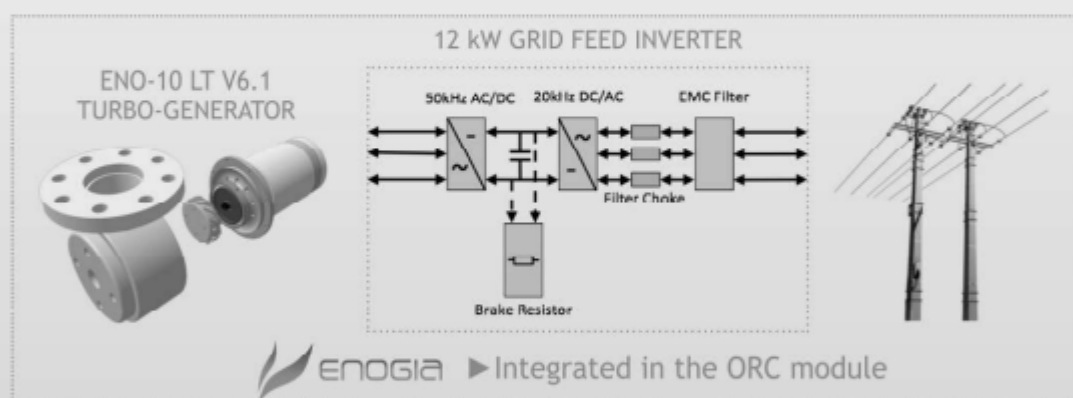
### MAIN DIMENSIONS

<b>Length</b>	1.18 m
<b>Width</b>	0.80 m
<b>Height</b>	1.70 m

### CONNECTIONS

<b>Hot loop</b>	2 ISO flanges DN50 PN16
<b>Cold loop</b>	2 ISO flanges DN50 PN16
<b>Electrical output</b>	400V 50Hz 3ph
<b>Data</b>	ethernet RJ45

*Simplified grid connection thanks to the integrated inverter !*



### ENO-10 LT ORC MODULE

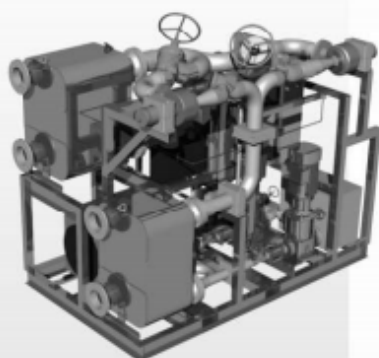
Working fluid	R245fa (R134a option)
Heat flux	Up to 200kW @90°C
Efficiency	From 5 to 8%
Weight	Less than 400kg
Inlet fluid conditions	water/glycol
Low temperature startup	60°C
Max temperature	120°C
Cooling	Water/glycol, 10 to 30°C

### KEY ADVANTAGES

- Low temperatures applications
- Small heat source applications
- Possible to use heat of the cold loop for another application (drying, heating water...)
- Plug and play system
- Optional integration in a container
- Supervision, data logging

## DATASHEET:

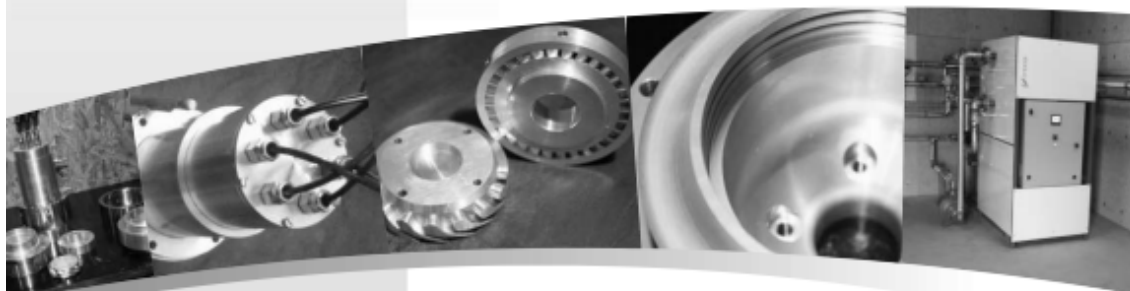
### ENOGIA'S ENO-40LT ORC SYSTEM FACT SHEET



ENOGIA's ENO-40LT Low Temperature 40kW Organic Rankine Cycle module uses ENOGIA proprietary Organic Rankine Cycle (ORC) Turbo-Generator that was specifically designed for high reliability and low maintenance.

Unlike volumetric expanders, lubrication is oil free and there is no metal to metal contact ensuring no wear and highest MTBF.

The innovative hermetic architecture of the turbogenerator provides high performance and low maintenance, resulting in low operation costs.



ENOGIA, created in 2009 by four engineers, is specialized in the development of ORC modules.

The company has received several public research grants related to green energy solutions and sustainable development.

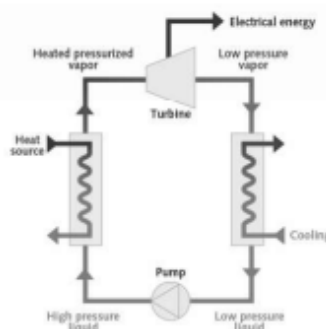
ENOGIA benefits from the label "Young innovative company" of the French Ministry of Research since 2010.

The company welcomed new private investors in 2012.

Since the beginning of 2014, ENOGIA is backed by a strategic partnership with IFP Energies Nouvelles, a major research and innovation center, which allows ENOGIA to broaden the power range of its turbines and widen the field of use of heat-to-power solutions.

ENOGIA's ENO-40LT Organic Rankine Cycle module is a complete, packaged unit, that includes all the components needed for a reliable and efficient heat to power conversion.

Installation is very simple : hot loop and cold loop are connected to the ORC with standard ISO PN16 flanges, electrical output is connected to the grid directly with the grid feed inverter, and communication with the fully automated control system is made via ethernet.



**ENOGIA ENO-40LT : your trusted partner for Low Temperature Heat to Power conversion !**



**ENOGIA**

ENOGIA SAS

51, rue Le Chatelier 13015 Marseille FRANCE

T: +33 9 51 53 79 09 / Fax: +33 9 56 53 79 09

info@enogia.com / www.enogia.com



Sm



Rank®

## FICHA TÉCNICA

Data Sheet

### Fabricante / Manufacturer

**EXPANDER TECH, S.L** con CIF: B-12,839,452 con domicilio social en CAMPUS RIU SEC, S/N. despacho TC2335DD. UJI. 12071 CASTELLON DE LA PLANA (Castellón)

<b>Denominación</b> Name	<b>Equipo ORC de Microgeneración a partir de Fuentes de Calor de Baja Temperatura.</b>
<b>Marca</b> Brand	<b>Rank®</b>
<b>Tipo</b> Type	<b>RANK1103011</b>

### Normativa de referencia / Reference standards

- CE Low voltage Directive 2006/95/EC
- Machinery Directive 2006/42/EC
- Electromagnetic Compatibility Directive 2004/108/EC
- Pressurized Equipment Directive 97/23/EC
- ASME B31.1 – Power Piping Code, Mechanical
- ASME B31.3 – Process Piping Code
- Receiver complies with ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII Div. I
- Built in accordance with UL 508A- Control Panel Wiring
- Sound pressure tested in accordance with the requirements of EN/ISO 3744:2010

### Características Técnicas / Technical data

<b>Fuente de calor / Thermal source</b>			
	<b>Temperatura_ent / Inlet temperature [°C]</b>		<b>110°C</b>
	<b>Temperatura_sal / Outlet temperature [°C]</b>		<b>100°C</b>
<b>Potencia térmica / Thermal power</b>			<b>608,5 kW</b>
<b>Circuito de disipación / Disipation system.</b>			
	<b>Temperatura_sal / Outlet temperature [°C]</b>		<b>40°C</b>
	<b>Temperatura_ent / Inlet temperature [°C]</b>		<b>30°C</b>
<b>Potencia térmica / Thermal power</b>			<b>531,5 kW</b>
<b>Electricidad producida / Electrical production</b>			
<b>Pot. neta / Net power [kW]</b>	<b>38 kW</b>	<b>Tensión / Voltage [V]</b>	<b>400</b>
		<b>Frecuencia /Frequency [Hz]</b>	<b>50</b>
<b>Dimensiones / Dimensions</b>			
<b>Altura / Heigh [mm]</b>	<b>2100</b>	<b>Anchura / Width [mm]</b>	<b>1500</b>
<b>Largo / Long [mm]</b>	<b>3500</b>	<b>Peso (vacío) / Weigh (empty) [kg]</b>	<b>4200</b>
<b>Cooling</b>		<b>Water/glycol, 10 to 30°C</b>	

16  
16

15

17

# Anexo D: Rank

## D.1 Fichas técnicas dos equipamentos

### FICHA TÉCNICA Data Sheet



#### Fabricante / Manufacturer

**EXPANDER TECH, S.L** con CIF: B-12.839.452 con domicilio social en CAMPUS RIU SEC,  
S/N. despacho TC2335DD. UJI. 12071 CASTELLON DE LA PLANA (Castellón)

<b>Denominación</b> Name	<b>Equipo ORC de Microgeneración a partir de Fuentes de Calor de Baja Temperatura.</b>
<b>Marca</b> Brand	<b>Rank®</b>
<b>Tipo</b> Type	<b>RANK1103001</b>

#### Normativa de referencia / Reference standards

- CE Low voltage Directive 2006/95/EC
- Machinery Directive 2006/42/EC
- Electromagnetic Compatibility Directive 2004/108/EC
- Pressurized Equipment Directive 97/23/EC
- ASME B31.1 – Power Piping Code, Mechanical
- ASME B31.3 – Process Piping Code
- Receiver complies with ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII Div. I
- Built in accordance with UL 508A- Control Panel Wiring
- Sound pressure tested in accordance with the requirements of EN/ISO 3744:2010

#### Características Técnicas / Technical data

<b>Fuente de calor / Thermal source</b>			
	<b>Temperatura_ent / Inlet temperature [°C]</b>		<b>110°C</b>
	<b>Temperatura_sal / Outlet temperature [°C]</b>		<b>100°C</b>
<b>Potencia térmica / Thermal power</b>			<b>108,7 kW</b>
<b>Circuito de disipación / Disipation system.</b>			
	<b>Temperatura_sal / Outlet temperature [°C]</b>		<b>40°C</b>
	<b>Temperatura_ent / Inlet temperature [°C]</b>		<b>30°C</b>
<b>Potencia térmica / Thermal power</b>			<b>95,0 kW</b>
<b>Electricidad producida / Electrical production</b>			
<b>Pot. neta / Net power [kW]</b>	<b>6,8 kWe</b>	<b>Tensión / Voltage [V]</b>	<b>400</b>
		<b>Frecuencia /Frequency [Hz]</b>	<b>50</b>
<b>Dimensiones / Dimensions</b>			
<b>Altura / Heigh [mm]</b>	<b>2100</b>	<b>Anchura / Width [mm]</b>	<b>1200</b>
<b>Largo / Long [mm]</b>	<b>2500</b>	<b>Peso (vacio) / Weigh (empty) [kg]</b>	<b>2000</b>

## FICHA TÉCNICA

Data Sheet



### Fabricante / Manufacturer

**EXPANDER TECH, S.L** con CIF: B-12,839,452 con domicilio social en CAMPUS RIU SEC,  
S/N. despacho TC2335DD. UJI. 12071 CASTELLON DE LA PLANA (Castellón)

Denominación Name	Equipo ORC de Microcogeneración a partir de Fuentes de Calor de Baja Temperatura.
Marca Brand	Rank®
Tipo Type	RANK1103010

### Normativa de referencia / Reference standards

- CE Low voltage Directive 2006/95/EC
- Machinery Directive 2006/42/EC
- Electromagnetic Compatibility Directive 2004/108/EC
- Pressurized Equipment Directive 97/23/EC
- ASME B31.1 – Power Piping Code, Mechanical
- ASME B31.3 – Process Piping Code
- Receiver complies with ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII Div. I
- Built in accordance with UL 508A- Control Panel Wiring
- Sound pressure tested in accordance with the requirements of EN/ISO 3744:2010

### Características Técnicas / Technical data

<b>Fuente de calor / Thermal source</b>			
	Temperatura_ent / Inlet temperature [°C]		110°C
	Temperatura_sal / Outlet temperature [°C]		100°C
<b>Potencia térmica / Thermal power</b>			530,8 kW
<b>Círculo de disipación / Disipation system.</b>		<b>Water</b>	
	Temperatura_sal / Outlet temperature [°C]		40°C
	Temperatura_ent / Inlet temperature [°C]		30°C
<b>Potencia térmica / Thermal power</b>			463,6 kW
<b>Electricidad producida / Electrical production</b>			
<b>Pot. neta / Net power [kW]</b>	<b>33,2 kWe</b>	<b>Tensión / Voltage [V]</b>	<b>400</b>
		<b>Frecuencia /Frequency [Hz]</b>	<b>50</b>
<b>Dimensiones / Dimensions</b>			
<b>Altura / Heigh [mm]</b>	<b>2100</b>	<b>Anchura / Width [mm]</b>	<b>1500</b>
<b>Largo / Long [mm]</b>	<b>3500</b>	<b>Peso (vacío) / Weigh (empty) [kg]</b>	<b>4000</b>

1. OBJECT:

Object of this document is to give a proposal for the design, manufacturing and supervision on install, and startup of 1 MICROGENERATION EQUIPMENT RANK1103011 FROM WASTE HEAT.

2. SCOPE:

2.1. Supply ORC System EXWORKS including the following:

- Internal heat exchanger.
- Receiver tank, preheater (regenerator), evaporator, feed pump, expander,
- Condenser, electric generator, and control system with remote monitoring.
- Piping including valves, lubricating system, instrumentation and security devices.
- Electrical cabinet including Electrical devices & Control system.
- Junction box (for power & PLC connections).
- Thermal insulation of hot parts & pipes.
- Hot-Oil Supply to Working Fluid
- Working Fluid to Cold-Water Supply
- Working Fluid Pump
- Sound proofed enclosure, including complete ventilation system.
- The expander is lubricated by working fluid as part of in-process lubrication.
- Power Factor Correction Equipment
- ORC Required Sensors & Instrumentation.
- Documents (all in English language):
  - Shop drawings.
  - Product Data
  - Manufacturer's Installation Instructions
  - Manufacturer's Operation Instructions
  - Manufacturer's Certificate
  - Manufacturer's Performance Data

2.2. Supervision on Installation, Start up and commissioning including Flight tickets only (From Spain to Portugal). These operation will be taken in three days for additional days a quotation per day must be required.

3. OPERATING CONDITIONS.

Equipment of this project will design according to the following conditions

## D.2 Propostas apresentadas

EXPANDER TECH, S.L.  
B-12.839.452  
Campus Riu Sec, s/n. Edificio Espaltec  
Universitat Jaume I  
12.071 Castellón de la Plana (Castellón)



CLIENT: CONTINENTAL MABOR

PROJECT: Rank® ORC EQUIPMENT FOR WASTE HEAT RECOVERY.

Reference: OF0011\_15







Rank®

EXPANDER TECH, S.L.

circulating pumps, receive remote start and stop signals, and be shut down by a grid protection opened circuit.

It shall be possible to interface the output data of the machine to a SCADA system using a third party software that provides means of communication between the ORC Machine and other software such as a database or SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) system.

The ORC machine shall be supplied complete with factory wired and mounted controls located inside a weatherproof cabinet.

A junction box shall be provided for field connections to the power supply, low voltage control circuits for the chilled/hot oil/water pump, cooling water pump, cooling tower fan, heat medium pump, heat medium 3-way bypass valve and external control interlocks.

For remote monitoring and maintenance works an internet connections must be provided to the equipment.

All catalogues of illustration, and explanation should be provided in English

#### 7. FACTORY TESTS:

**RANK1103011** shall undergo a quality assurance process throughout the entire machine build and test process. The factory acceptance process shall be documented and tracked through final shipment of machines. Certification shall be provided for a summary of the overall process, as well as for a series of electrical tests required to meet EN/ISO 60204-1.

Moreover RANK will test, before shipping at our facilities, in order to certificate that equipment get into operating conditions described at point 3. Client or somebody authorized by him will be present if he likes.

#### 8. REQUERIMENTS FOR INSTALLATION:

Installation will be made in accordance with Rank's instructions.

Owner must provide connection to electrical and internet service.

Before installing this equipment make sure that place is leveled and support the equipment load. **RANK HT1103011** shall be installed in a location where there is access to all side and top panels. A minimum of 1 m clearance shall be provided in

OFE0011\_15\_CONTINENTAL MABOR\_rev00

PAG.- 4



Rank®

EXPANDER TECH, S.L.

ITEM		SPECIFICATIONS
Electrical output (kW)		50 net (±10%)
Heat medium (Thermal oil)	Heat input (kW)	750
	Inlet temperature (°C)	110
	Outlet temperature (°C)	100
Cooling water	Heat rejection (kW)	675
	Inlet temperature (°C)	20
	Outlet temperature (°C)	40
Electrical connections		3phase, 380V, 50 Hz, and standard electrical power generation quality

Environmental limits: Temperature 0 to 50°C for operating and -20 to 50°C for storage (working fluid must be removed prior to storage)

#### 4. APPLICABLE CODES:

1. CE Low voltage Directive 2006/95/EC
2. Machinery Directive 2006/42/EC
3. Electromagnetic Compatibility Directive 2004/108/EC
4. Pressurized Equipment Directive 97/23/EC
5. ASME B31.1 – Power Piping Code, Mechanical
6. ASME B31.3 – Process Piping Code. Also for pipe manifolds
7. Receiver complies with ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII Div. I
8. Built in accordance with UL 508A- Control Panel Wiring
9. Sound pressure tested in accordance with the requirements of EN/ISO 3744:2010

#### 5. ELECTRICAL REQUIREMENTS:

**RANK1103011** uses an asynchronous induction generator to connect to the electrical grid. The Generator should be brought up to Synchronous process (1500 rpm, 380V, for 50 Hz), with proper mechanical coupling process for successful synchronization to the grid. There is typically a small inrush current spike at connection that lasts for less than 100 ms during grid connection process.

#### 6. CONTROL PROTECTION AND CONNECTIONS:

**RANK1103011** is equipped with relays and contacts that allow for remote control and external component management. These connections are dry contacts, meaning the equipment is only opening and closing the relays. The machine will be programmed so that it can open and close the hot oil/water and cold water valves, start and stop

OFE0011\_15\_CONTINENTAL MABOR\_rev00

PAG.- 3

front of the equipment. The piping configuration shall allow clear access to the ORC machine for service.

All site water connections (hot and cold) are made with flanges. These water connections are coupled to the brazed plate heat exchangers which cannot take any flange loads. Pipe supports and allowance for thermal expansion must be designed in by the contractor. Bellows style expansion joints are on the water connections.

In addition to the water connections, the Pressure Relief Valves (PRV's) are routed to the enclosure in NPT pipe. This PRV discharge will be externally routed and supported in accordance with local codes and requirements.

A bypass shall be installed on the hot water connections so that the hot water resource may be diverted when the **RANK1103011** is turned off. Leaving the hot water on when the equipment is not running will lead to a buildup of pressure in the working fluid that can exceed the set point on the pressure relief valves resulting in a loss of working fluid.

Rank will provide cooling water connections to cooling water piping. On inlet, provide thermometer well for temperature limit controller, thermometer well and thermometer, strainer, nipple and flow switch, flexible pipe connector, pressure gage, and shut-off valve. On outlet, will provide thermometer well and thermometer, flexible pipe connector, pressure gage, and shut-off balancing valve.

Thermowells or temperature test points, similar to P/T plugs, shall be installed on the inlet and outlet water piping to the ORC machine.

Balancing valves shall be installed in all external water/oil circuits to adjust the flow.

A fused disconnect switch shall be furnished and installed in the power supply circuit to ORC unit.

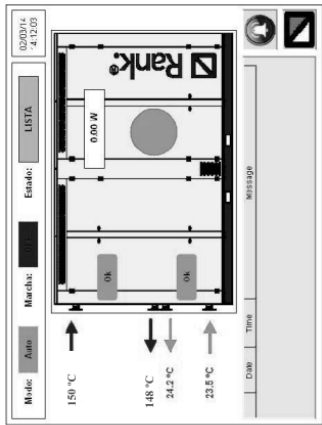
The water quality in the cooling water circuits shall not exceed the limits provided by Rank.

### 9. START UP:

RANK shall startup and provide routine maintenance on the ORC machine. The Contractor shall provide personnel familiar with the system design and controls to assist during startup.

### 10. OPERATION:

Equipment is operated via touch screen, where contractor can see at any moment working parameters and alarms or modify some of control values:



Example of touch screen

All this dates can be showed at a remote terminal like smart phone or PC .



Example of smart phone view

It shall be possible to interface the output data of the machine to a SCADA system using a third party software that provides means of communication between the ORC

### 15. PAYMENT TERMS

Payment terms will be:

- 40% (of 145.000€) by bank transfer, at the signature.
- 40% (of 145.000€) by bank transfer as goods ready for delivery.
- 20% (of 145.000€) by bank transfer after start up.

If the start up does not take place in a period of six months after the delivery, Expander Tech will be entitled to receive 10% (of 145.000€) in advance of the 20%.

### 16. TOTAL AMOUNT:

ITEM	€/UNIT	QTY	TOTAL
2.1.a Supply ORC System Exworks including the following: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Internal heat exchanger</li> <li>• Receiver tank, preheater (regenerator), evaporator, feed pump, expander,</li> <li>• Condenser, electric generator, and control system with remote monitoring.</li> <li>• Piping including valves, lubricating system, instrumentation and security.</li> <li>• Electrical cabinet including Electrical devices &amp; Control system.</li> <li>• Junction box (for power &amp; PLC connections).</li> <li>• Thermal insulation of hot parts &amp; pipes.</li> <li>• Hot-oil Supply to Working Fluid</li> <li>• Working Fluid to Cold-Water Supply</li> <li>• Working Fluid Pump</li> <li>• Sound proofed enclosure, including complete ventilation system.</li> <li>• The expander is lubricated by working fluid as part of in-process lubrication.</li> <li>• Power Factor Correction Equipment</li> <li>• ORC Required Sensors &amp; Instrumentation.</li> <li>• Documents (all in English language):               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Shop drawings.</li> <li>• Manufacturer's Installation Instructions</li> <li>• Manufacturer's Operation Instructions</li> <li>• Manufacturer's Certificate</li> <li>• Manufacturer's Performance Data</li> </ul> </li> </ul>	145.000	1	145.000

Machine and other software such as a database or SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) system.

### 11. MAINTENANCE:

RANK® shall provide routine maintenance on the ORC machine and if client wants spare parts for recommended one year maintenance and personnel to do it. (This is not included in this proposal).

### 12. DELIVERY PERIOD:

Delivery at our facilities will be 16 weeks after the contract have been signed. This period may be modified or blocked in case of default of payment terms included at point 15.

### 13. DELIVERY TERM:

RANK1103011 will be delivered Exworks.

### 14. GUARANTEES

All our equipments are tested at our facilities at working conditions defined by client and certified by a third party before shipping.

When equipment is operating at design conditions laid down in the technical documentation supplied, RANK® provides a guarantee (whichever occurs first):

- 12 months from starting or,
- 24 months from the date of manufacture.

Guarantees includes parts and a limited labor allowance.

This guarantee is not done if damages are caused due to the improper handling or operating conditions outside of those provided in the manual of the equipment.

If the start up is done more than 6 months after delivery a general maintenance is needed. A quotation will be required to do this work.

EXPANDER TECH, S.L.  
B-12.839.452  
Campus Riu Sec, s/n. Edificio Españec  
Universitat Jaume I  
12.071 Castellón de la Plana (Castellón)



CLIENT: CONTINENTAL MABOR

PROJECT: Rank<sup>®</sup> ORC EQUIPMENT FOR WASTE HEAT RECOVERY.

Reference: OF0012\_15



Not included:

- Installation and test in facilities (only supervision).
- Heat exchangers and thermal oil circuit from the heat source.
- Water circuit to the cooling system.
- Taxes and customs.
- Civil works and installations for connection.
- Licenses and authorizations for installation by local governments.
- Transport, unloading and handling.
- Rank<sup>®</sup> personnel hotels and transportation.
- Any other thing not said in the present document.

17. ACCEPTATION.

We both accept conditions of this document at the date specified.



CONTINENTAL MABOR

EXPANDER TECH, S.L.

D. \_\_\_\_\_  
CHAIRMAN.  
Date:

D. José P. Martí Mata  
CHAIRMAN.  
June, 10<sup>th</sup> of 2015

ITEM		SPECIFICATIONS
Electrical output (kW) (Heat medium (Thermal oil))	Heat Input (kW)	7,5 net (+10%)
	Inlet temperature (°C)	125
	Outlet temperature (°C)	110
Cooling water	Heat rejection (kW)	100
	Inlet temperature (°C)	109
	Outlet temperature (°C)	20
Electrical connections		3phase, 380V, 50 Hz, and standard electrical power generation quality

Environmental limits: Temperature 0 to 50°C for operating and -20 to 50°C for storage (working fluid must be removed prior to storage)

4. APPLICABLE CODES:

- CE Low voltage Directive 2006/95/EC
- Machinery Directive 2006/42/EC
- Electromagnetic Compatibility Directive 2004/108/EC
- Pressurized Equipment Directive 97/23/EC
- ASME B31.1 – Power Piping Code, Mechanical
- ASME B31.3 – Process Piping Code. Also for pipe manifolds
- Receiver complies with ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII Div. I
- Built in accordance with UL 508A- Control Panel Wiring
- Sound pressure tested in accordance with the requirements of EN/ISO 3744:2010

5. ELECTRICAL REQUIREMENTS:

RANK1103001 uses an asynchronous induction generator to connect to the electrical grid. The Generator should be brought up to Synchronous process (1500 rpm, 380V, for 50 Hz), with proper mechanical coupling process for successful synchronization to the grid. There is typically a small inrush current spike at connection that lasts for less than 100 ms during grid connection process.

6. CONTROL PROTECTION AND CONNECTIONS:

RANK1103001 is equipped with relays and contacts that allow for remote control and external component management. These connections are dry contacts, meaning the equipment is only opening and closing the relays. The machine will be programmed so that it can open and close the hot oil/water and cold water valves, start and stop

1. OBJECT.

Object of this document is to give a proposal for the design, manufacturing and supervision on install, and startup of 1 MICROGENERATION EQUIPMENT RANK1103001 FROM WASTE HEAT.

2. SCOPE:

2.1. Supply ORC System EXWORKS including the following:

- Internal heat exchanger.
- Receiver tank, preheater (regenerator), evaporator, feed pump, expander,
- Condenser, electric generator, and control system with remote monitoring.
- Piping including valves, lubricating system, instrumentation and security devices.
- Electrical cabinet including Electrical devices & Control system.
- Junction box (for power & PLC connections).
- Thermal insulation of hot parts & pipes.
- Hot-Oil Supply to Working Fluid
- Working Fluid to Cold-Water Supply
- Working Fluid Pump
- Sound proofed enclosure, including complete ventilation system.
- The expander is lubricated by working fluid as part of in-process lubrication.
- Power Factor Correction Equipment
- ORC Required Sensors & Instrumentation.
- Documents (all in English language):
  - Shop drawings.
  - Product Data
  - Manufacturer's Installation Instructions
  - Manufacturer's Operation Instructions
  - Manufacturer's Certificate
  - Manufacturer's Performance Data

2.2. Supervision on Installation, Start up and commissioning including Flight tickets only (From Spain to Portugal). These operation will be taken in three days for additional days a quotation per day must be required.

3. OPERATING CONDITIONS.

Equipment of this project will design according to the following conditions

front of the equipment. The piping configuration shall allow clear access to the ORC machine for service.

All site water connections (hot and cold) are made with flanges. These water connections are coupled to the brazed plate heat exchangers which cannot take any flange loads. Pipe supports and allowance for thermal expansion must be designed in by the contractor. Bellows style expansion joints are on the water connections.

In addition to the water connections, the Pressure Relief Valves (PRV's) are routed to the enclosure in NPT pipe. This PRV discharge will be externally routed and supported in accordance with local codes and requirements.

A bypass shall be installed on the hot water connections so that the hot water resource may be diverted when the **RANK1103001** is turned off. Leaving the hot water on when the equipment is not running will lead to a buildup of pressure in the working fluid that can exceed the set point on the pressure relief valves resulting in a loss of working fluid.

Rank will provide cooling water connections to cooling water piping. On inlet, provide thermometer well for temperature limit controller, thermometer well and thermometer, strainer, nipple and flow switch, flexible pipe connector, pressure gage, and shut-off valve. On outlet, will provide thermometer well and thermometer, flexible pipe connector, pressure gage, and shut-off balancing valve.

Thermowells or temperature test points, similar to P/T plugs, shall be installed on the inlet and outlet water piping to the ORC machine.

Balancing valves shall be installed in all external water/oil circuits to adjust the flow.

A fused disconnect switch shall be furnished and installed in the power supply circuit to ORC unit.

The water quality in the cooling water circuits shall not exceed the limits provided by Rank.

#### 9. START UP:

RANK shall startup and provide routine maintenance on the ORC machine. The Contractor shall provide personnel familiar with the system design and controls to assist during startup.

OFED0012\_15\_CONTINENTAL MABOR\_rev00

PAG.- 5

circulating pumps, receive remote start and stop signals, and be shut down by a grid protection opened circuit.

It shall be possible to interface the output data of the machine to a SCADA system using a third party software that provides means of communication between the ORC Machine and other software such as a database or SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) system.

The ORC machine shall be supplied complete with factory wired and mounted controls located inside a weatherproof cabinet.

A junction box shall be provided for field connections to the power supply, low voltage control circuits for the chilled/hot oil/water pump, cooling water pump, cooling tower fan, heat medium pump, heat medium 3-way bypass valve and external control interlocks.

For remote monitoring and maintenance works an internet connections must be provided to the equipment.

All catalogues of illustration, and explanation should be provided in English

#### 7. FACTORY TESTS:

**RANK1103001** shall undergo a quality assurance process throughout the entire machine build and test process. The factory acceptance process shall be documented and tracked through final shipment of machines. Certification shall be provided for a summary of the overall process, as well as for a series of electrical tests required to meet EN/ISO 60204-1.

Moreover RANK will test, before shipping at our facilities, in order to certificate that equipment get into operating conditions described at point 3. Client or somebody authorized by him will be present if he likes.

#### 8. REQUERIMENTS FOR INSTALLATION:

Installation will be made in accordance with Rank's instructions.

Owner must provide connection to electrical and internet service.

Before installing this equipment make sure that place is leveled and support the equipment load. **RANK HT1103001** shall be installed in a location where there is access to all side and top panels. A minimum of 1 m clearance shall be provided in

OFED0012\_15\_CONTINENTAL MABOR\_rev00

PAG.- 4

Machine and other software such as a database or SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) system.

11. MAINTENANCE:

RANK® shall provide routine maintenance on the ORC machine and if client wants spare parts for recommended one year maintenance and personnel to do it. (This is not included in this proposal).

12. DELIVERY PERIOD:

Delivery at our facilities will be 16 weeks after the contract have been signed. This period may be modified or blocked in case of default of payment terms included at point 15.

13. DELIVERY TERM:

RANK1103001 will be delivered Exworks.

14. GUARANTEES

All our equipments are tested at our facilities at working conditions defined by client and certified by a third party before shipping.

When equipment is operating at design conditions laid down in the technical documentation supplied, RANK® provides a guarantee (whichever occurs first):

- 12 months from starting or,
- 24 months from the date of manufacture.

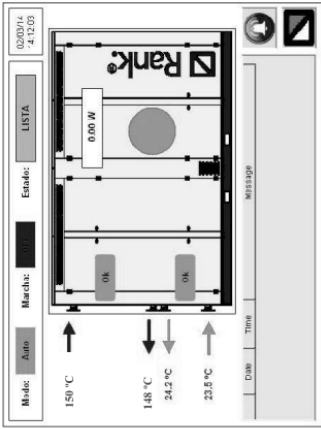
Guarantees includes parts and a limited labor allowance.

This guarantee is not done if damages are caused due to the improper handling or operating conditions outside of those provided in the manual of the equipment.

If the start up is done more than 6 months after delivery a general maintenance is needed. A quotation will be required to do this work.

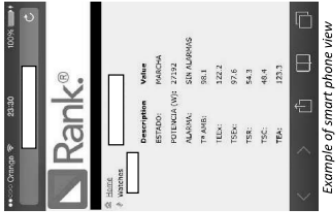
10. OPERATION:

Equipment is operated via touch screen, where contractor can see at any moment working parameters and alarms or modify some of control values:



Example of touch screen

All this dates can be showed at a remote terminal like smart phone or PC .



It shall be possible to interface the output data of the machine to a SCADA system using a third party software that provides means of communication between the ORC

15. PAYMENT TERMS

Payment terms will be:

- 40% (of 32.750€) by bank transfer, at the signature.
- 40% (of 32.750€) by bank transfer as goods ready for delivery.
- 20% (of 32.750€) by bank transfer after start up.

If the start up does not take place in a period of six months after the delivery, Expander Tech will be entitled to receive 10% (of 32.750€) in advance of the 20%.

16. TOTAL AMOUNT:

ITEM	€/UNIT	QTY	TOTAL
2.1.a Supply ORC System Exworks including the following: <ul style="list-style-type: none"><li>• Internal heat exchanger</li><li>• Receiver tank, preheater (regenerator), evaporator, feed pump, expander,</li><li>• Condenser, electric generator, and control system with remote monitoring.</li><li>• Piping including valves, lubricating system, instrumentation and security.</li><li>• Electrical cabinet including Electrical devices &amp; Control system.</li><li>• Junction box (for power &amp; PLC connections).</li><li>• Thermal insulation of hot parts &amp; pipes.</li><li>• Hot-Oil Supply to Working Fluid</li><li>• Working Fluid to Cold-Water Supply</li><li>• Working Fluid Pump</li><li>• Sound proofed enclosure, including complete ventilation system.</li><li>• The expander is lubricated by working fluid as part of in process lubrication.</li><li>• Power Factor Correction Equipment</li><li>• ORC Required Sensors &amp; Instrumentation.</li><li>• Documents (all in English language):<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Shop drawings.</li><li>▪ Product Data</li><li>▪ Manufacturer's Installation Instructions</li><li>▪ Manufacturer's Operation Instructions</li><li>▪ Manufacturer's Certificate</li><li>▪ Manufacturer's Performance Data</li></ul></li></ul>	32.750	1	32.750

Not included:

- Installation and test in facilities (only supervision).
- Heat exchangers and thermal oil circuit from the heat source.
- Water circuit to the cooling system.
- Taxes and customs.
- Civil works and installations for connection.
- Licenses and authorizations for installation by local governments.
- Transport, unloading and handling.
- Rank® personnel hotels and transportation.
- Any other thing not said in the present document.

17. ACCEPTATION.

We both accept conditions of this document at the date specified.

CONTINENTAL MABOR


☐

EXPANDER TECH, S.L.

D. \_\_\_\_\_

CHAIRMAN.

Date:



D. José P. Martí Mata

CHAIRMAN.

June, 10<sup>th</sup> of 2015



1. OBJECT.

Object of this document is to give a proposal for the design, manufacturing and supervision on install, and startup of 1 MICROGENERATION EQUIPMENT RANK1103010 FROM WASTE HEAT.

2. SCOPE:

2.1. Supply ORC System EXWORKS including the following:

- Internal heat exchanger.
- Receiver tank, preheater (regenerator), evaporator, feed pump, expander,
- Condenser, electric generator, and control system with remote monitoring.
- Piping including valves, lubricating system, instrumentation and security devices.
- Electrical cabinet including Electrical devices & Control system.
- Junction box (for power & PLC connections).
- Thermal insulation of hot parts & pipes.
- Hot-Oil Supply to Working Fluid
- Working Fluid to Cold-Water Supply
- Working Fluid Pump
- Sound proofed enclosure, including complete ventilation system.
- The expander is lubricated by working fluid as part of in-process lubrication.
- Power Factor Correction Equipment
- ORC Required Sensors & Instrumentation.
- Documents (all in English language):
  - Shop drawings.
  - Product Data
  - Manufacturer's Installation Instructions
  - Manufacturer's Operation Instructions
  - Manufacturer's Certificate
  - Manufacturer's Performance Data

2.2. Supervision on Installation, Start up and commissioning including Flight tickets only (From Spain to Portugal). These operation will be taken in three days for additional days a quotation per day must be required.

3. OPERATING CONDITIONS.

Equipment of this project will design according to the following conditions



CLIENT: CONTINENTAL MABOR

PROJECT: Rank® ORC EQUIPMENT FOR WASTE HEAT RECOVERY.

Reference: OF0013\_15



circulating pumps, receive remote start and stop signals, and be shut down by a grid protection opened circuit.

It shall be possible to interface the output data of the machine to a SCADA system using a third party software that provides means of communication between the ORC Machine and other software such as a database or SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) system.

The ORC machine shall be supplied complete with factory wired and mounted controls located inside a weatherproof cabinet.

A junction box shall be provided for field connections to the power supply, low voltage control circuits for the chilled/hot oil/water pump, cooling water pump, cooling tower fan, heat medium pump, heat medium 3-way bypass valve and external control interlocks.

For remote monitoring and maintenance works an internet connections must be provided to the equipment.

All catalogues of illustration, and explanation should be provided in English

7. FACTORY TESTS:

**RANK1103010** shall undergo a quality assurance process throughout the entire machine build and test process. The factory acceptance process shall be documented and tracked through final shipment of machines. Certification shall be provided for a summary of the overall process, as well as for a series of electrical tests required to meet EN/ISO 60204-1.

Moreover RANK will test, before shipping at our facilities, in order to certificate that equipment get into operating conditions described at point 3. Client or somebody authorized by him will be present if he likes.

8. REQUERIMENTS FOR INSTALLATION:

Installation will be made in accordance with Rank's instructions.

Owner must provide connection to electrical and internet service.

Before installing this equipment make sure that place is leveled and support the equipment load. **RANK1103010** shall be installed in a location where there is access to all side and top panels. A minimum of 1 m clearance shall be provided in front of the

ITEM		SPECIFICATIONS
Electrical output (kW) Heat medium (Thermal oil)	Heat Input (kW)	32,5 net (±10%)
	Inlet temperature (°C)	550
Cooling water	Outlet temperature (°C)	110
	Heat rejection (kW)	100
	Inlet temperature (°C)	480
	Outlet temperature (°C)	20
Electrical connections		40
		3phase, 380V, 50 Hz, and standard electrical power generation quality

Environmental limits: Temperature 0 to 50°C for operating and -20 to 50°C for storage (working fluid must be removed prior to storage)

4. APPLICABLE CODES:

1. CE Low voltage Directive 2006/95/EC
2. Machinery Directive 2006/42/EC
3. Electromagnetic Compatibility Directive 2004/108/EC
4. Pressurized Equipment Directive 97/23/EC
5. ASME B31.1 – Power Piping Code, Mechanical
6. ASME B31.3 – Process Piping Code. Also for pipe manifolds
7. Receiver complies with ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII Div. I
8. Built in accordance with UL 508A- Control Panel Wiring
9. Sound pressure tested in accordance with the requirements of EN/ISO 3744:2010

5. ELECTRICAL REQUIREMENTS:

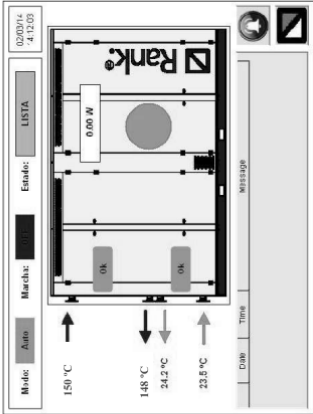
**RANK1103010** uses an asynchronous induction generator to connect to the electrical grid. The Generator should be brought up to Synchronous process (1500 rpm, 380V, for 50 Hz), with proper mechanical coupling process for successful synchronization to the grid. There is typically a small inrush current spike at connection that lasts for less than 100 ms during grid connection process.

6. CONTROL PROTECTION AND CONNECTIONS:

**RANK1103010** is equipped with relays and contacts that allow for remote control and external component management. These connections are dry contacts, meaning the equipment is only opening and closing the relays. The machine will be programmed so that it can open and close the hot oil/water and cold water valves, start and stop

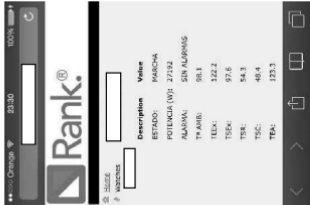
### 10. OPERATION:

Equipment is operated via touch screen, where contractor can see at any moment working parameters and alarms or modify some of control values:



Example of touch screen

All this dates can be showed at a remote terminal like smart phone or PC .



Example of smart phone view

It shall be possible to interface the output data of the machine to a SCADA system using a third party software that provides means of communication between the ORC

equipment. The piping configuration shall allow clear access to the ORC machine for service.

All site water connections (hot and cold) are made with flanges. These water connections are coupled to the brazed plate heat exchangers which cannot take any flange loads. Pipe supports and allowance for thermal expansion must be designed in by the contractor. Bellows style expansion joints are on the water connections.

In addition to the water connections, the Pressure Relief Valves (PRV's) are routed to the enclosure in NPT pipe. This PRV discharge will be externally routed and supported in accordance with local codes and requirements.

A bypass shall be installed on the hot water connections so that the hot water resource may be diverted when the **RANK1103010** is turned off. Leaving the hot water on when the equipment is not running will lead to a buildup of pressure in the working fluid that can exceed the set point on the pressure relief valves resulting in a loss of working fluid.

Rank will provide cooling water connections to cooling water piping. On inlet, provide thermometer well for temperature limit controller, thermometer well and thermometer, strainer, nipple and flow switch, flexible pipe connector, pressure gage, and shut-off valve. On outlet, will provide thermometer well and thermometer, flexible pipe connector, pressure gage, and shut-off balancing valve.

Thermowells or temperature test points, similar to P/T plugs, shall be installed on the inlet and outlet water piping to the ORC machine.

Balancing valves shall be installed in all external water/oil circuits to adjust the flow.

A fused disconnect switch shall be furnished and installed in the power supply circuit to ORC unit.

The water quality in the cooling water circuits shall not exceed the limits provided by Rank.

### 9. START UP:

RANK shall startup and provide routine maintenance on the ORC machine. The Contractor shall provide personnel familiar with the system design and controls to assist during startup.

15. PAYMENT TERMS

Payment terms will be:

- 40% (of 122.281€) by bank transfer, at the signature.
- 40% (of 122.281€) by bank transfer as goods ready for delivery.
- 20% (of 122.281€) by bank transfer after start up.

If the start up does not take place in a period of six months after the delivery, Expander Tech will be entitled to receive 10% (of 122.281€) in advance of the 20%.

16. TOTAL AMOUNT:

ITEM	€/UNIT	QTY	TOTAL
2.1.a Supply ORC System Exworks including the following:			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Internal heat exchanger</li> <li>Receiver tank, preheater (regenerator), evaporator, feed pump, expander,</li> <li>Condenser, electric generator, and control system with remote monitoring.</li> <li>Piping including valves, lubricating system, instrumentation and security.</li> <li>Electrical cabinet including Electrical devices &amp; Control system.</li> <li>Junction box (for power &amp; PLC connections).</li> <li>Thermal insulation of hot parts &amp; pipes.</li> <li>Hot-Oil Supply to Working Fluid</li> <li>Working Fluid to Cold-Water Supply</li> <li>Working Fluid Pump</li> <li>Sound proofed enclosure, including complete ventilation system.</li> <li>The expander is lubricated by working fluid as part of in-process lubrication.</li> <li>Power Factor Correction Equipment</li> <li>ORC Required Sensors &amp; Instrumentation.</li> <li>Documents (all in English language): <ul style="list-style-type: none"> <li>Shop drawings.</li> <li>Product Data</li> <li>Manufacturer's Installation Instructions</li> <li>Manufacturer's Operation Instructions</li> <li>Manufacturer's Certificate</li> <li>Manufacturer's Performance Data</li> </ul> </li> </ul>	122.281	1	122.281

Machine and other software such as a database or SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) system.

11. MAINTENANCE:

RANK® shall provide routine maintenance on the ORC machine and if client wants spare parts for recommended one year maintenance and personnel to do it. (This is not included in this proposal).

12. DELIVERY PERIOD:

Delivery at our facilities will be 16 weeks after the contract have been signed. This period may be modified or blocked in case of default of payment terms included at point 15.

13. DELIVERY TERM:

RANK1103010 will be delivered Exworks.

14. GUARANTEES

All our equipments are tested at our facilities at working conditions defined by client and certified by a third party before shipping.

When equipment is operating at design conditions laid down in the technical documentation supplied, RANK® provides a guarantee (whichever occurs first):

- 12 months from starting or,
- 24 months from the date of manufacture.

Guarantees includes parts and a limited labor allowance.

This guarantee is not done if damages are caused due to the improper handling or operating conditions outside of those provided in the manual of the equipment.

If the start up is done more than 6 months after delivery a general maintenance is needed. A quotation will be required to do this work.



Not included:

- Installation and test in facilities (only supervision).
- Heat exchangers and thermal oil circuit from the heat source.
- Water circuit to the cooling system.
- Taxes and customs.
- Civil works and installations for connection.
- Licenses and authorizations for installation by local governments.
- Transport, unloading and handling.
- Rank® personnel hotels and transportation.
- Any other thing not said in the present document.

17. ACCEPTATION.

We both accept conditions of this document at the date specified.



CONTINENTAL MABOR

EXPANDER TECH, S.L.

D. \_\_\_\_\_

CHAIRMAN.

Date:

D. José P. Martí Mata  
CHAIRMAN.  
June, 10<sup>th</sup> of 2015

# Anexo E: YORK

## E.1 Simulações de desempenho



**Issue Date:** 05/06  
**Project:** Continental Mabor  
**Engineer:** JCI Portugal

**Program:** Isoflow  
**Rev:** v2\_01  
**Date:** Jun 08 2015  
**Page:** 1

<b>YORK Model</b>	YIA1A1
<b>Modification Level</b>	D
<b>Capacity (kW)</b>	408.0
<b>COP</b>	0.700
<b>Altitude (m)</b>	0
<b>Ambient Temperature (°C)</b>	0.0
<b>Evaporator Passes</b>	2
<b>Absorber Passes</b>	2
<b>Condenser Passes</b>	1
<b>Generator Passes</b>	2

### Evaporator

<b>Liquid Type</b>	Chilled Water	<b>Concentration (%)</b>	100.0
<b>Flow Rate (l/sec)</b>	19.52	<b>Fouling (m² K/kW)</b>	0.01760
<b>Entering Temperature (°C)</b>	12.0	<b>Leaving Temperature (°C)</b>	7.0
<b>Tube Material</b>	COPPER	<b>Tube Wall (mm)</b>	0.635

### Absorber/Condenser

<b>Liquid Type</b>	Cooling Water	<b>Concentration (%)</b>	100.0
<b>Flow Rate (l/sec)</b>	27.00	<b>Fouling (m² K/kW)</b>	0.04400
<b>Entering Temperature (°C)</b>	30.0	<b>Leaving Temperature (°C)</b>	38.9
<b>Absorber Tube Material</b>	COPPER	<b>Absorber Tube Wall (mm)</b>	0.559
<b>Condenser Tube Material</b>	COPPER	<b>Condenser Tube Wall (mm)</b>	0.559

### Generator

<b>Liquid Type</b>	Hot Water	<b>Concentration (%)</b>	100.0
<b>Flow Rate (l/sec)</b>	5.72	<b>Fouling (m² K/kW)</b>	0.01760
<b>Entering Temperature (°C)</b>	130.0	<b>Leaving Temperature (°C)</b>	104.3
<b>Tube Material</b>	90/10 CUNI	<b>Tube Wall (mm)</b>	0.889

### Valve Selection

<b>Samson Valve #1 Size (DIN)</b>	DN50	<b>Samson Valve #1 Type</b>	3-Way Diverting
<b>Kv at 100% open</b>	40.17	<b>Inlet pressure (kPa)</b>	78.99
<b>Samson Valve #2 Size (DIN)</b>	DN50	<b>Samson Valve #2 Type</b>	2-Way Cage
<b>Kv at 100% open</b>	40.17	<b>Inlet pressure (kPa)</b>	78.99

### Pressure Drops

<b>Chilled Fluid In Evap (kPa)</b>	15.3	<b>Cooling Fluid In Abs/Cond (kPa)</b>	21.1
<b>Hot Fluid In Generator (kPa)</b>	7.8	<b>Hot Fluid in Valve #1 (kPa)</b>	24.6
		<b>Hot Fluid in Valve #2 (kPa)</b>	24.6



Issue Date: 05/06  
Project: Continental Mabor  
Engineer: JCI Portugal

Program: Isoflow  
Rev: v2\_01  
Date: Jun 08 2015  
Page: 1

<b>YORK Model</b>	YIA1A1
<b>Modification Level</b>	D
<b>Capacity (kW)</b>	420.0
<b>COP</b>	0.703
<b>Altitude (m)</b>	0
<b>Ambient Temperature (°C)</b>	0.0
<b>Evaporator Passes</b>	2
<b>Absorber Passes</b>	2
<b>Condenser Passes</b>	1
<b>Generator Passes</b>	2

#### Evaporator

<b>Liquid Type</b>	Chilled Water	<b>Concentration (%)</b>	100.0
<b>Flow Rate (l/sec)</b>	20.09	<b>Fouling (m² K/kW)</b>	0.01760
<b>Entering Temperature (°C)</b>	12.0	<b>Leaving Temperature (°C)</b>	7.0
<b>Tube Material</b>	COPPER	<b>Tube Wall (mm)</b>	0.635

#### Absorber/Condenser

<b>Liquid Type</b>	Cooling Water	<b>Concentration (%)</b>	100.0
<b>Flow Rate (l/sec)</b>	30.00	<b>Fouling (m² K/kW)</b>	0.04400
<b>Entering Temperature (°C)</b>	30.0	<b>Leaving Temperature (°C)</b>	38.2
<b>Absorber Tube Material</b>	COPPER	<b>Absorber Tube Wall (mm)</b>	0.559
<b>Condenser Tube Material</b>	COPPER	<b>Condenser Tube Wall (mm)</b>	0.559

#### Generator

<b>Liquid Type</b>	Hot Water	<b>Concentration (%)</b>	100.0
<b>Flow Rate (l/sec)</b>	5.71	<b>Fouling (m² K/kW)</b>	0.01760
<b>Entering Temperature (°C)</b>	130.0	<b>Leaving Temperature (°C)</b>	103.6
<b>Tube Material</b>	90/10 CUNI	<b>Tube Wall (mm)</b>	0.889

#### Valve Selection

<b>Samson Valve #1 Size (DIN)</b>	DN50	<b>Samson Valve #1 Type</b>	3-Way Diverting
<b>Kv at 100% open</b>	40.17	<b>Inlet pressure (kPa)</b>	78.99
<b>Samson Valve #2 Size (DIN)</b>	DN50	<b>Samson Valve #2 Type</b>	2-Way Cage
<b>Kv at 100% open</b>	40.17	<b>Inlet pressure (kPa)</b>	78.99

#### Pressure Drops

<b>Chilled Fluid In Evap (kPa)</b>	16.1	<b>Cooling Fluid In Abs/Cond (kPa)</b>	25.8
<b>Hot Fluid In Generator (kPa)</b>	7.8	<b>Hot Fluid in Valve #1 (kPa)</b>	24.5
		<b>Hot Fluid in Valve #2 (kPa)</b>	24.5

## E.2 Proposta apresentada

Projecto: Continental Mabor

Nº. Proposta: 15\_083

Vendedor: Ricardo Félix





ITEM	DESCRIÇÃO	UN.	P. UNIT. LIQ.	P.TOTAL LIQ.
<b>1</b>	<b>Chiller Absorção</b>			
<b>1.1</b>	<b>Modelo : YIA 1A1</b>	1	97,000,00	97,000,00
	Potência arrefecimento : 400 Kw			
	Temperatura água quente : 120/106,4 °C			
	Caudal água quente : 10,59 L/s			
<b>1.2</b>	<b>Modelo : YIA 1A2</b>	1	103,000,00	103,000,00
	Potência arrefecimento : 500 Kw			
	Temperatura água quente : 110/99,7 °C			
	Caudal água quente : 17,04 L/s			
<b>1.3</b>	<b>Modelo : YIA 2A4</b>	1	116,000,00	116,000,00
	Potência arrefecimento : 600 Kw			
	Temperatura água quente : 102/95,5 °C			
	Caudal água quente : 31,91 L/s			
<b>2</b>	<b>Chiller Compressão Água/Água</b>			
<b>2.1</b>	<b>Modelo : YCWL 426 HE</b>	1	36,550,00	36,550,00
	Potência arrefecimento : 412 Kw			
<b>2.2</b>	<b>Modelo : YCWL 532 HE</b>	1	45,100,00	45,100,00
	Potência arrefecimento : 499 Kw			
<b>2.3</b>	<b>Modelo : YCWL 611 HE</b>	1	46,150,00	46,150,00
	Potência arrefecimento : 596 Kw			
<b>3</b>	<b>Chiller Compressão Ar/Água</b>			
<b>3.1</b>	<b>Modelo : YLAA 441 HE</b>	1	43,750,00	43,750,00
	Potência arrefecimento : 412 Kw			
<b>3.2</b>	<b>Modelo : YLAA 516 HE</b>	1	51,000,00	51,000,00
	Potência arrefecimento : 499 Kw			
<b>3.3</b>	<b>Modelo : YVAA 665</b>	1	67,400,00	67,400,00
	Potência arrefecimento : 596 Kw			

**Nota:** O preço inclui o arranque por um técnico da Johnson Controls  
Entrega em obra sobre camião



# Anexo F: Siemens


## F.1 Ficha técnica do equipamento

### Pre-designed Steam Turbine SST-040

Power Output: 75-300 kW

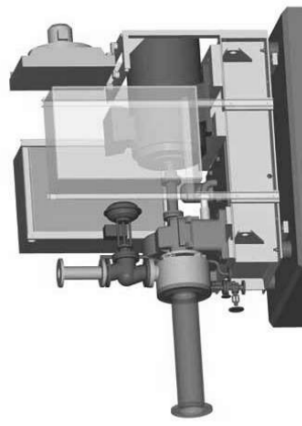
The newly developed pre-designed steam turbine SST-040 is a generator drive specially designed for decentralized power generation. It features a compact design, short start-up times and a high degree of operational reliability.



The SST-040 is used as a condensing turbine in decentralized solar facilities or for waste-heat recovery, e.g. used behind gas engines and biogas engines. As a back-pressure turbine it is used in small combined heat and power (CHP) plants as well as in decentralized plants to generate process heat and electrical power. The turbine is capable of rapid-starting i.e. it can be started from cold without preheating. When not enough live steam is supplied anymore or the live steam supply ends, the turbine will switch off automatically.

**Application area**

- Waste-heat recovery
- Small CHP plants
- Decentralized solar facilities



Pre-designed steam turbine SST-040

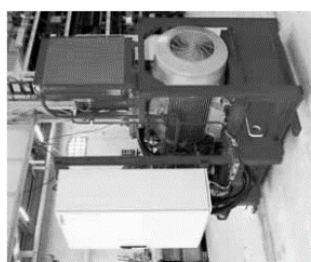
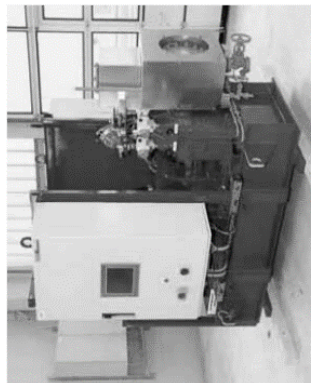
Industrial Steam Turbines

**SIEMENS**

Answers for energy.

### Turbine design

The SST-040 is a single-stage impulse turbine. The inlet steam flow is directed onto the turbine rotor blades, where mechanical power is generated when the steam flow direction changes. The resulting impulse spins the rotor, and the power is transferred from the turbine via the gear to the generator.

The SST-040 steam turbine is delivered as a pre-tested turbo generator package-unit.

The control and operating unit with a 12-inch touch panel covers all necessary monitoring functions.

### Turbine

The turbine casing is centrally slide-mounted on the bearing casing to permit free radial movements under influence of different temperatures. The vertical split allows easy access to the rotor disk. The quick acting inlet valve for steam control and quick-stop is opened and closed by a pneumatically controlled servomotor. The casing is thermally insulated by zinc-coated mineral wool lagging.

### Generator

A highly efficient low-voltage motor is used for power generation in generator mode. Optimally adjusted to a particular power range, mechanical power is converted into electrical power. For protection, thermocouples or electronic resistance temperature detectors (RTDs) monitor the temperature of the bearings and windings.

### Monitoring and power circuit breaker

The control and protection unit covers all necessary monitoring functions. A clearly arranged 12-inch touch panel shows all relevant data. For data transmission to an existing external control system, the control and protection unit is equipped with a Profibus interface.

The circuit breaker with motor drive and subvoltage release establishes the connection with the power network.

### Base frame

The SST-040 steam turbine is delivered as a pre-tested package-unit with turbine, gear, generator, oil unit, control and protection unit as well as circuit breaker, built upon a base frame. The lightweight turbine package has a space requirement of approx. 1.5m x 2.5m x 2m (breadth x length x height) and a weight of around 4,500 kg.

### Gear

The design of the integral gear, manufactured in our Siemens workshop, was chosen to fit perfectly to the design of the turbine. The gear box includes the pressure-lubricated sleeve bearings and the gearwheels. Ground gearing and tooth contact pattern adjustment during assembly guarantee extremely low vibration levels and low noise.

### Oil unit

The integrated oil supply consists of an auxiliary oil pump with electric start-motor, a mechanically driven main oil pump, an exchangeable duplex oil filter and air-cooled oil cooler.

## Installation, control and maintenance

Our processes in the areas of sales, development, production, commissioning and service are specially planned and structured so that we can install your unit in the shortest possible time.

The SST-040 turbogenerator package is completely approved and installed in the Siemens test bay, enabling easy, problem-free installation on a base plate or small concrete foundation.

The installation and the connection to the steam pipes and to the electrical grid can be carried out by our customers themselves with the help of our guidelines. A Siemens technician will commission the turbine place a few days later. The complete unit is designed to be simple and reliable, so that power generation can normally begin only six months after placing the order with Siemens.

## Service

Customer Service is for us more than just a concept, it is a way of life. If you have any questions about your unit, modification requirements or if you should experience an operational disturbance, Siemens Frankenthal is at your service around the clock with its hotline +49 171 51 82 610 – wherever the location of your unit.

**Speak to us, and we will gladly advise you:**

Siemens Frankenthal  
Telephone: +49 6233 85-22 91  
Telefax: +49 6233 85-26 60  
E-Mail: [turbines.rtr.energy@siemens.com](mailto:turbines.rtr.energy@siemens.com)



The installation of the turbine can be carried out by the customers themselves.

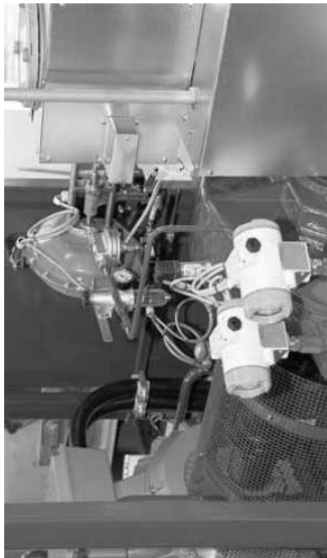
## Criteria for capital investment decision

Siemens has been manufacturing predesigned steam turbines in Frankenthal for more than 80 years. These turbines are known worldwide for the best quality at reasonable prices. With the new, reliable steam turbine SST-040 customers are able to use "hidden" power sources like small amounts of waste heat.

### Important reasons for planning own power generation:

- Increased efficiency of biogas plants by using the waste heat of the gas engine for additional power generation (combined cycle)
- Generation of CHP in breweries, in dairies, in paper industry or for drying processes
- Stabilization of the power provision by using peak current
- Allocation of governmental cogeneration subsidies in certain countries for fuel input and power output
- Utilization of small amounts of waste-heat (1000 up to 3000 kW thermal) with low exhaust gas temperatures (from 150°C) for power generation

## Technical Data

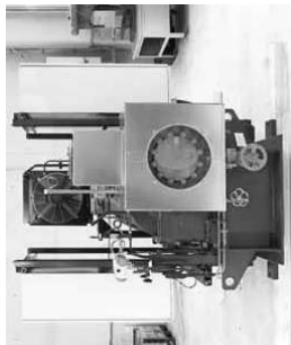


### Technical Data

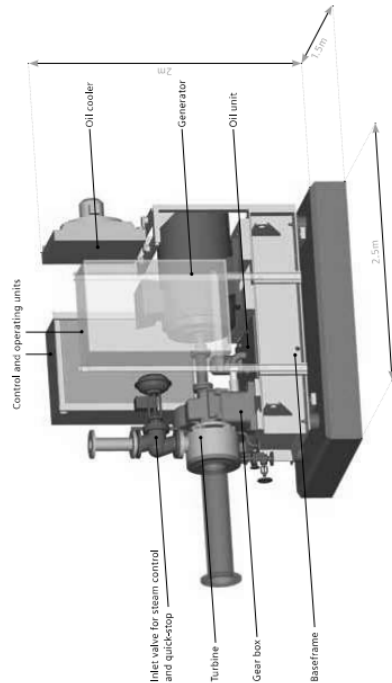
- Power Output : 75–300 kW (e)
- Inlet pressure: 2 up to 40 bar (a)
- Inlet temperature: dry saturated steam up to 400°C
- Exhaust pressure: max. 7 bar (a) up to 0,1 bar (a) condensation
- Dimensions: 1.5m x 2.5m x 2m (breadth x length x height)
- Weight: approx. 4,500 kg

### Advantages

- Minimal foundation work thanks to small and compact design
- Largely maintenance-free due to stalwart, robust construction
- High availability thanks to resilient and sure technology
- Quick start without preheating of the turbine due to minimized gyrating masses
- Favorably priced thanks to proven components
- Quick development and commissioning due to production-orientated design



The turbine casing is heat-insulated and centrally slide-mounted on the bearing casing.



Oil & Gas Division  
Order No. ES0001-0410-A1124-4000  
Printed in Germany  
Dispo 34806, c/bis 7477 b/bk 23929  
P WS 01112  
Printed on elementary chlorine-free bleached paper.

Siemens Turbomachinery Equipment GmbH  
Hilberner Straße 2  
67227 Frankenthal (Pfalz), Deutschland  
For more information, please contact our Customer Service Center:  
Phone: +49 180 524 70 00  
Fax: +49 180 524 74 71  
(Charges depending on provider)  
E-mail: [support.energy@siemens.com](mailto:support.energy@siemens.com)

Published and copyright 2011:  
Siemens AG  
Energy Sector  
Freyelsheimstrasse 1  
91058 Erlangen, Germany  
Siemens AG, Energy Sector  
Oil & Gas Division  
Wolfgang-Reuter-Platz  
47053 Duisburg, Germany

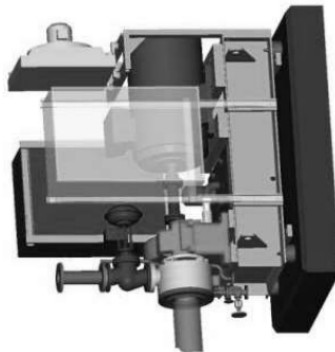
[www.siemens.com/energy](http://www.siemens.com/energy)

## 1.1

### Scope of supply

#### COMPACT STEAM TURBINE SST-040

A „Mini“-Version of the highly reliable steam turbine SST-060, this unit is designed as a generator drive and has been developed for a power range of 75 – 300 kW. The turbine is distinguished by a functionally clean and compact design, with a short delivery time, short commissioning phase and a high functional reliability.



## 1.1.1

### Steam part A

#### Turbine casing

The casing is supported from the bearing casing via a center ring which permits radial movement freely under the influence of temperature. The vertical split allows easy access to the turbine wheel.

#### Turbine wheel

Axial flow and mounted to the shaft in overhung design. The blades are milled of the solid disk (Ø350mm).

#### Inlet valve

Pneumatically-actuated combined governing and quick-acting trip valve. The necessary compressed air (6 bar) has to be provided by the customer.

## 1.1.1.2.10

### Thermal insulation

The casing is thermally insulated by mineral wool lagging with sheet metal cladding (zinc coated).

CONTINENTAL MABOR - INDÚSTRIA DE PNEUS  
SA

4760-606  
LOUSADO  
Portugal

### Budgetary proposal 150723-1A

Date 8.6.15  
Contact João Bandeira Santos  
Telephone +351 21 4178592  
Telefax  
E-mail joao.b.santos@siemens.com  
Homepage www.siemens.com/ptackkk

Reference: Continental, Cogeneration , 6000 kg/h

Dear Mr. Daniel Tavares,

We thank you for your enquiry for the a.m. project and have pleasure in offering our compact steam turbine

### SST-040

It is designed especially for lower power outputs with easy start-up and simple use.

As the space requirement of approx. 6 m² is very small, it is suitable especially for retrofitting existing steam generating units.

If we can be of any further assistance, please do not hesitate to contact us.

Kind regards

Siemens Turbomachinery Equipment GmbH

In Frankenthal SIEMENS designs, manufactures and distributes  
turbomachinery - steam turbines, compressors and turbo-blowers of  
KK&K and Schiele design for numerous industrial applications.

Siemens Turbomachinery Equipment GmbH  
Geschäftsführung / Management: Volker Neumann (Vorstandsrat / Chairman),  
Frank Langer

Vorsitzender des Aufsichtsrats / Chairman of the  
Sitz der Gesellschaft / Headquarters: Frankenthal • Handelsregister / Commercial Register: LHRB 60741  
Deutsche Bank AG, Munich • Acc. 203 700 000, BLZ 700 700 10 • BIC (SWIFT): DEUT 3333  
UST-ID-Nr./VAT: DE 148416762 • Steuernr. / Tax number: 1565400043

Hausanschrift / Office address:  
Hessheimer Strasse 2  
67227 Frankenthal, BRD  
Tel. +49 (6233) 85-0  
www.siemens.com/ptackkk

Postadresse / postal address:  
Siemens Turbomachinery  
Equipment GmbH  
Postfach / PO Box 1728  
67207 Frankenthal, BRD



1.1.3 **OIL SUPPLY SYSTEM**

STE provides the complete lubrication oil supply system including the internal pipework and armature. The oil system consists of:

oil reservoir, integrated into the base frame of the turbine and generator

1.1.3.1 Auxiliary oil pump (1 pc. / 100 % flow) with electrical motor, installed vertically, with oil pump submerged into the oil reservoir.

- Type: electrically driven 400 V / 50 Hz
- Housing: cast iron body

1.1.3.2 Main oil pump (1 pc. / flow), integrated in gearbox.

- Type: Mechanically shaft driven / gear type
- Housing: cast iron body

1.1.3.3 Air cooled oil cooler

1.1.3.4 Single oil filter with 25µm filter inserts according to SIEMENS standard design

1.1.4 **BASE FRAME**

Below the turbine/gear and the generator there is a base frame for mounting on customer's foundation.

1.1.5 **Coupling** ind. coupling guard

1.1.2 **GEARBOX**

The gearbox is designed acc. to DIN 3990 and manufactured in SIEMENS workshop. This gear is consisting of one high-speed pinion shaft and one bull gear. The gearbox housing is horizontally split and allows easy inspection of gears and bearings. Ground gearing, combined with contact pattern adjustment during assembly, guarantees extremely low vibration levels and low noise.

- Housing material: cast iron (EN-GJL-200)
- Bearing type: 4 hydrodynamic sleeve bearings
- Axial forces: by thrust bearing and/or thrust collar
- Toothling: single helical type
- Oil drain: downward to the reservoir

## ACCESSORIES

### 1.2.1

#### GENERATOR

A highly efficient SIEMENS low voltage motor is used for power generation in the generator mode.

Optimally adjusted to a particular power range, mechanical power is converted into electrical power.

Rated Power 160 kW    Rated Voltage 400 V    Rated Frequency 50 Hz

Protection class: IP55  
Cooling method: self-cooling (IC411)  
Temperature class: 155(F) IE1  
Housing material: cast iron

Thermocouples monitor the condition of the windings from failure.

### 1.2.2

#### LOCAL CONTROL PANELS

The control and protection unit is mounted at the turbine base frame to provide all necessary control and protection. Operation is provided by a Touchpanel 12" (Standard languages German/ English). The parametrization of the programmable logic controller (PLC) can handle through use of the graphic display on the Touchpanel. Connection to an on the side of the customer available distributed control system (DCS) via a Modbus TCP/IP interface (Ethernet) possible.

#### Protection,- Measuring and Control components

Additional overspeed protection (Braun)  
Speed controller, process controller, synchronisation and generator-/ mains protection (Deif Delomatic Control Unit)

#### Features

Displaying of trendings (configurable), automatic load reduction, animated diagrams, logging

#### Built-in components

Power supply for providing 24 V DC control voltage  
Control of turbine auxiliary drives with own contactors  
Teleservice capable with network connection (TCP/IP)

#### Panel design

Dimensions (B / W / H): 2x (1000 / 1400 / 400) in mm  
Coating: RAL7035  
Protection class: IP42  
Ambient conditions: 0°C - 40°C, max. 70% humidity

## COATING / PRESERVATION / PACKAGING

### 1.1.11 COATING FOR CORROSION CATEGORY C3 (PARTS <140°C)

Prime coating    Surface preparation acc. DIN EN ISO 12944-4  
TEKNODUR PRIMER 3422; dry layer > 80µm

Top coating    TEKNODUR 9204 (2-pack PUR topcoat)  
Color RAL 7030/ Stone grey; dry layer >70µm

### 1.1.11.2 COATING OF PARTS >140°C

Prime coating only    Surface preparation acc. DIN EN ISO 12944-4,  
LUBERPOX special zinc rich paint IG01.751  
Color RAL7001 (silver grey); dry layer >80µm

Additionally there will be an insulation, to prevent contact with hot parts.

## PRESERVATION

Appropriate for short time storage of 6 months between delivery and start-up, in light industrial atmosphere, indoor.  
Outside under roof, a duration of more than 2 months should not be exceeded.

## STANDARD ACCESSORIES

Conical steam strainer for installation in the live steam pipe (supplied loose)

Spring shock absorbers including fixing material for anti-vibration mounting.

Operating points SST-040  
for driving a: Generator

	1	2	3	4	5
<b>Inlet</b>					
Pressure		20 bara			
Temperature		212°C			
<b>Exhaust</b>					
Pressure		8 bara			
Temperature		170°C			
Enthalpy		2716 kJ/kg			
<b>Speed</b>					
Turbine		12917 U/min			
Output		3000 U/min			
<b>Power</b>					
Flow		6000 kg/h			
Output at the coupling		140 kW			
Power at terminals		129 kW			

1.3

SPARE PARTS

- 1.3.1 Recommended spare parts for a operation time of 2 years (20.000 h)
- 1.3.1.1 1 set of sealings and packings

1.2.3

Automatic drain valves  
for inlet- and exhaust steam (supplied loose)

1.4.2.1

**Mechanical test run at SIEMENS workshop**  
Before leaving the workshop, each turbine undergoes a mechanical no-load test run.  
There the order related controller setup is done and recorded. Also the function of the oil system, over speed protection mechanisms, the emergency stop and further systems is examined.  
After reaching the equilibrium the turbine is operated 1 hour with rated speed. At the end of this continuous test further data, like temperatures and vibrations, are recorded.

1.4.2.2

**PACKING FOR LAND TRANSPORTATION**  
Packing for land transportation acc. to Siemens' standards for safe carriage of the goods by land is provided.

1.4.2.3

**DELIVERY**  
Delivery EXW acc. Incoterms® 2010. The scope of supply will be packed and prepared for picking up by customer. The exact date will be announced in a notification of readiness for dispatch.

1.4.3

**DOCUMENTATION**  
The following documents are in our scope of supply in English language:  
The documents will be submitted in electronic form and once in paper form.

- Steam flow / performance diagram	4 weeks after order date
- Steam quality requirements	4 weeks after order date
- Installation guidelines	4 weeks after order date
- Operating data sheet	6 weeks after order date
- Flange connection sizes	6 weeks after order date
- Test run description	6 weeks after order date
- P&I diagram	8 weeks after order date
- Installation drawing	8 weeks after order date
- Interlocking diagram	8 weeks after order date
- Quality assurance plan	8 weeks after order date
- Consumption list	14 weeks after order date
- Electrotechnical documentation	14 weeks after order date
- Operation manual	on delivery

1x paper / 1x electronic  
Language: English  
Labeling/designation of scope acc. to our standards

**Required steam quality for turbine operation**

Conductivity at 25°C  
in the condensed sample measured according to  
highly acidic cation exchanger and CO<sub>2</sub> removal

- Silica (SiO <sub>2</sub> )	< 0.02 mg/kg	during cont. operation
- Total Iron (Fe)	< 0.02 mg/kg	during cont. operation
- Sodium + Potassium (Na + K)	< 0.01 mg/kg	during cont. operation
- Copper (Cu)	< 0.003 mg/kg	during cont. operation
- Oxygen (O <sub>2</sub> )	< 0.02 mg/kg	during cont. operation
- Chloride (Cl <sup>-</sup> )	< 0.01 mg/kg	during cont. operation
- pH Value	9.2 - 9.6	during cont. operation

Beside this alkaline operation, the neutral or combined operation is permitted. In any case, the requirements of the VGB feedwater guideline (VGB-R 450L) shall be followed.

Because of the guidelines for safety of machinery, the steam quality must be absolutely dry under any circumstances (x=1 in the Mollier diagram). Also nonsteady operating conditions should be taken into account (e.g. start-up of boilers). Protection of the turbine from solid particles in the steam (sand, rust, welding residue...) must be realized as well.

In addition to the supplied steam strainer we recommend therefore to incorporate a cyclone separator in the live steam pipe generally.

With radial flow wheels (CFR, CFA) or live steam temperatures, which are less than 50°C superheated, installing a cyclone separator to prevent damage by erosion is imperative.

A suitable cyclone separator can be offered by us optionally.

In case an effective drop and dirt separator should be mandatory but not installed at site or the installation becomes non-functional, any liability claim for corrosion-erosion damage to the turbine is inadmissible.

**Relevant Codes and Standards**

- DIN 4312 (Construction of Steam Turbines)
- DIN 3960, 3961/62, 3990 (for Gearing)
- DIN 1943 (Acceptance Test of Steam Turbines)
- DIN EN 563 (Safety of machinery – Temperatures of touchable surfaces)
- DIN ISO 1940 (Mechanical vibration – Balance quality requirements of rigid rotors)
- DIN ISO 10816 (Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts)
- VDI 2059 (Shaft vibrations of turbosets)
- AD-Data sheets (calculation, manufacturing rules and testing of pressure parts)
- ANSI / AGMA 2101 - C95 (Fundamental rating factors and calculation methods for involute spur and helical gear teeth)
- NEMA SM 23 (National Electric Manufacturers Association, Steam turbines for mechanical drive service)

Abbreviations: DIN (German Industrial Norm), EN (European Norm), ISO (International Organization for Standards), VDI (Association of German Engineers), IEC (International Electro-technical Commission), VDE (Association of German Electrical Engineers)

**1.4.4.1****Installation check / Commissioning**

We offer the check-up of installation, commissioning and test run for the equipment. Traveling costs (rental car, tickets,...) and hotel will be charged separately.

**Installation:**

The assembly, alignment and erection will be done by customer. STE will provide the necessary documentation.

**Supervision & commissioning:**

The installation check & commissioning price includes the traveling time of the supervisor and 2 man days. The supervisor begins by checking the steam and the electrical supply connections. Thereafter he begins with the start-up. During the commissioning, all relevant control and instrumentation and all safety-devices are tested and adjusted. The customer's staff is familiarized with all the functions.

The commissioning ends after the delivered scope of supply runs continuously 12 hours at the specific power output adjusted for current site conditions without any incident of damage or fault.

After commissioning, a protocol will be issued by both parties.

All delays and interruptions, which are not caused by SIEMENS, will be invoiced separately.

**Take over:**

Take over shall be made immediately after the commissioning/test run of the delivered equipment.

The take over certificate will be signed by both parties.

Minor defects, which do not infringe upon the usability of the delivered goods, are not reasons to avoid acceptance.

The purchaser, shall in any case be deemed to have taken over when:

- in case of delay not caused by SIEMENS, no longer than 3 months after notification of readiness for dispatch.
- If SIEMENS is responsible for the delay, the latest date of take over will be prolonged accordingly.
- If the purchaser / end-user takes the equipment or any part of it into operation.

All delays, interruptions and additional work, which are not caused by SIEMENS, as well as all additional traveling expenses, will be invoiced additionally.

If not agreed otherwise, the EHS (Environment, Health and Safety) guideline of Siemens AG will apply.

**Important Information:**

We would like to draw your attention expressly to the fact that due to the presently sensitive security situation, all possible warranty claims towards SIEMENS can only be settled at SIEMENS' registered office in Frankfurt, Federal Republic of Germany.

SIEMENS will not delegate security hints and / or traveling warnings, or to sites for which a safe stay of our personnel cannot be granted.



**The following materials and services are not included (unless otherwise stipulated)**

- Any pipe work or valves outwith the respective turbine terminal flanges, check valves, non-return valves, compensators or insulation
- Cooling water supply or return pipe work, including valves, for the oil cooler
- Safety relief valves in the steam pipe work
- Calculation or design of the foundation
- Excavation, civil or joinery work
- Building, lubricating, cleaning materials or fuel
- First fill of lubricating oil
- Provision of any measures for absorbing substances hazardous to waters
- Installation or commissioning of the plant, as well as steam costs for the trial run (see erection quotation)
- Lifting gear, erection scaffolding, means of transport or consumables (water, air, electricity) needed for installation
- Any costs for official material, inspection- or acceptance-tests, including preparation for acceptance tests, insofar as these are not specified
- Electrical interconnecting cabling or devices.
- Provision of any qualified/ specialist support personnel (e.g. bricklayer, electrician or similar craftsmen) for the specified duration and in the number required for the erection.
- The support personnel should follow the instructions of the erection supervisor.
- SIEMENS accepts no responsibility or liability for the support personnel
- Design of any civil works involving excavation, building/ structures, concrete or scaffolding including the supply of any construction materials therefore
- Provision of any heating, lighting, power supplies or water including any supplies necessary to the installation or for the subsequent operation
- Protection of the erection parts and material against damage or injury of any kind
- Provision of any materials or preparations of any kind needed for the completion of the testing which may be otherwise contractually required
- Wiring outside of the turbines limits of supply (field cabling)
- Supply air and exhaust air funnels for the generator ind. sound absorbers, if necessary in case that it is an air-cooled generator

**Global supply chain management**

Siemens concentrates in all sectors on only the best suppliers. In selecting our suppliers we emphasize factors like quality, environmental awareness and compliance with our standards in the supply chain.

Our purchasing departments choose in close cooperation with the project managers the right suppliers for any application out of a global portfolio.

In case there are any special options or requirements, we will consider that on request.

**PRICING:**

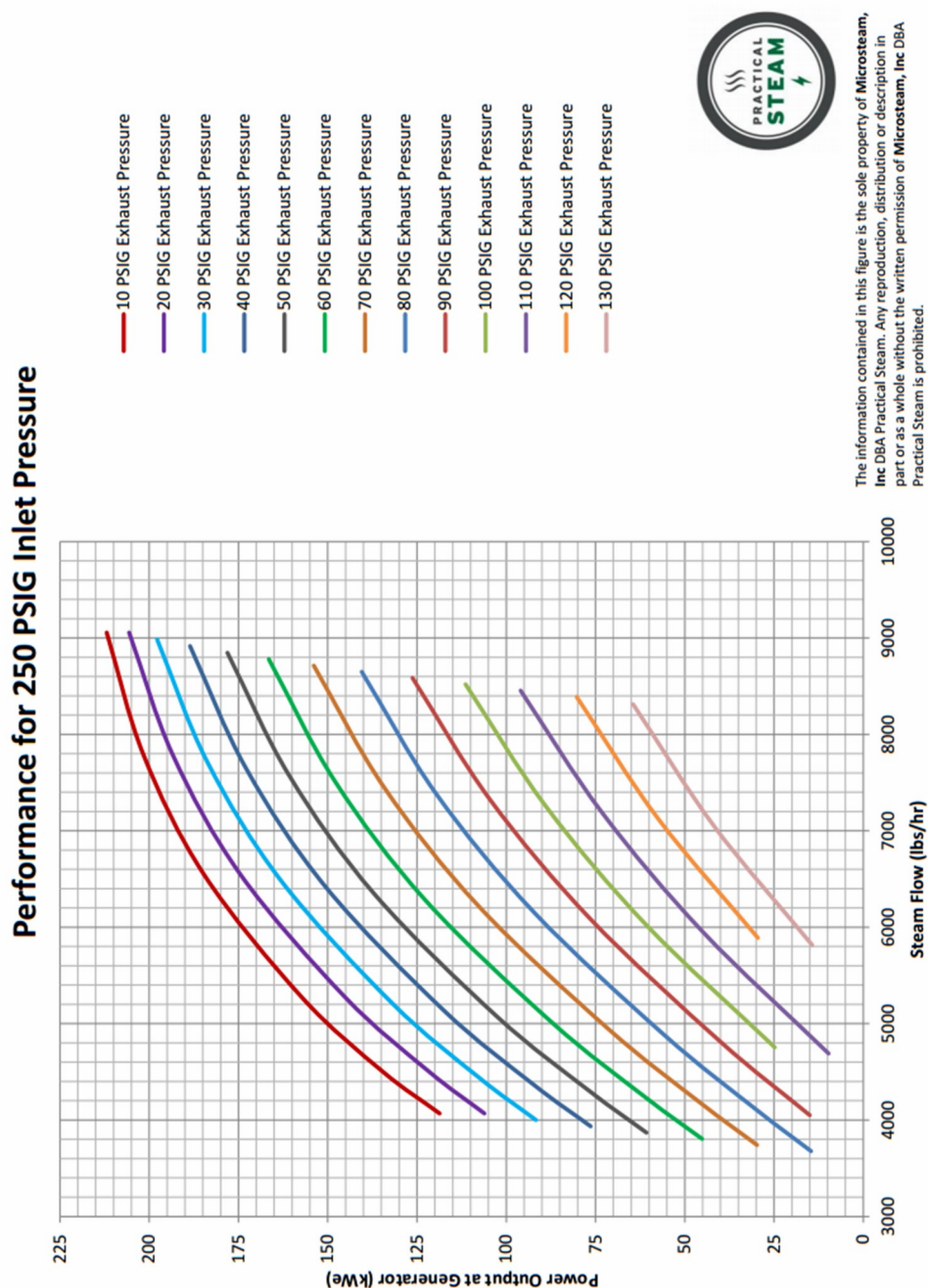
Qty.	Description	Pos.	Price
1	Compact steam turbine SST-040	1.1	275.000,00 €
1	Gearbox	1.1.2	ind.
1	Oil supply system	1.1.3	ind.
1	auxiliary oil pump with electric motor	1.1.3.1	ind.
1	Mechanical main oil pump	1.1.3.2	ind.
1	Coupling incl. coupling guard	1.1.5	ind.
1	Electrical Generator	1.2.1	ind.
1	Local Control Panels	1.2.2	ind.
1	Automatic drain valves for inlet- and exhaust steam (supplied loose)	1.2.3	ind.
1	Set of sealings and packing (spare part)	1.3.1.1	ind.
1	Mechanical test run at SIEMENS workshop	1.4.2.1	ind.
1	Installation check / Commissioning	1.4.4.1	ind.
<b>Total</b>			<b>275.000,00 €</b>

<b>Payment terms</b>	will be stipulated during negotiation phase, to meet the financing plans on customer's side.
<b>Incoterms® 2010</b>	EXW
<b>Warranty</b>	12 months from acceptance, latest 18 months from readiness for dispatch
<b>Delivery time</b>	is 8 months It is calculated from the contract conclusion until dispatch readiness date, which will be advised by a special note. It is preliminary and will be scheduled during negotiation.

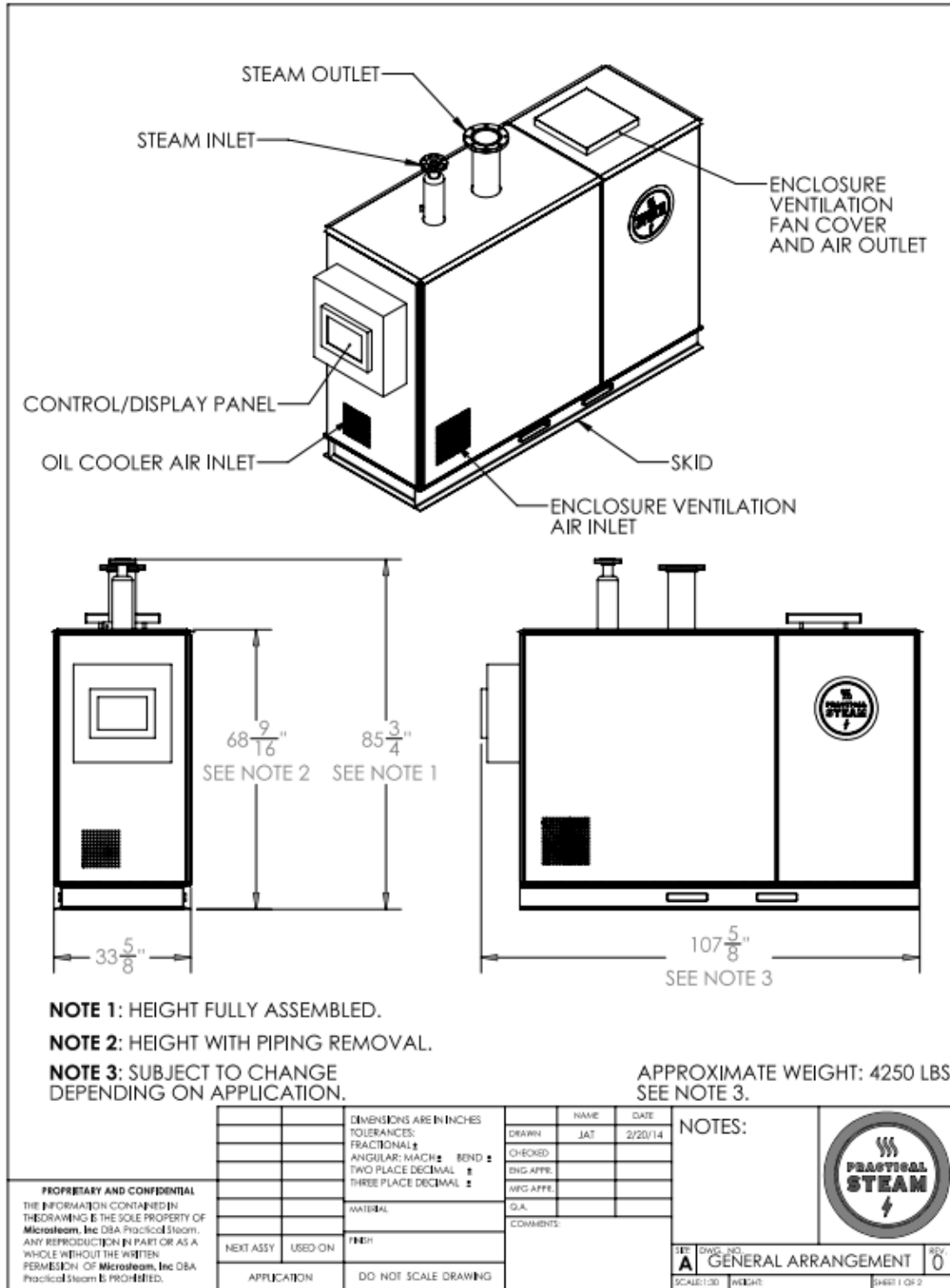
**Note:** This budgetary proposal is for informational purposes only. Under no circumstances shall it establish any obligation or liability on Siemens' behalf nor shall it be considered to be a firm or binding offer by Siemens.  
The price is an estimation for the mentioned scope of supply. Scope might change during the project planning, so does the price. All provisions are subject to negotiation and final approval by a firm bid, which we would be happy to present by request.

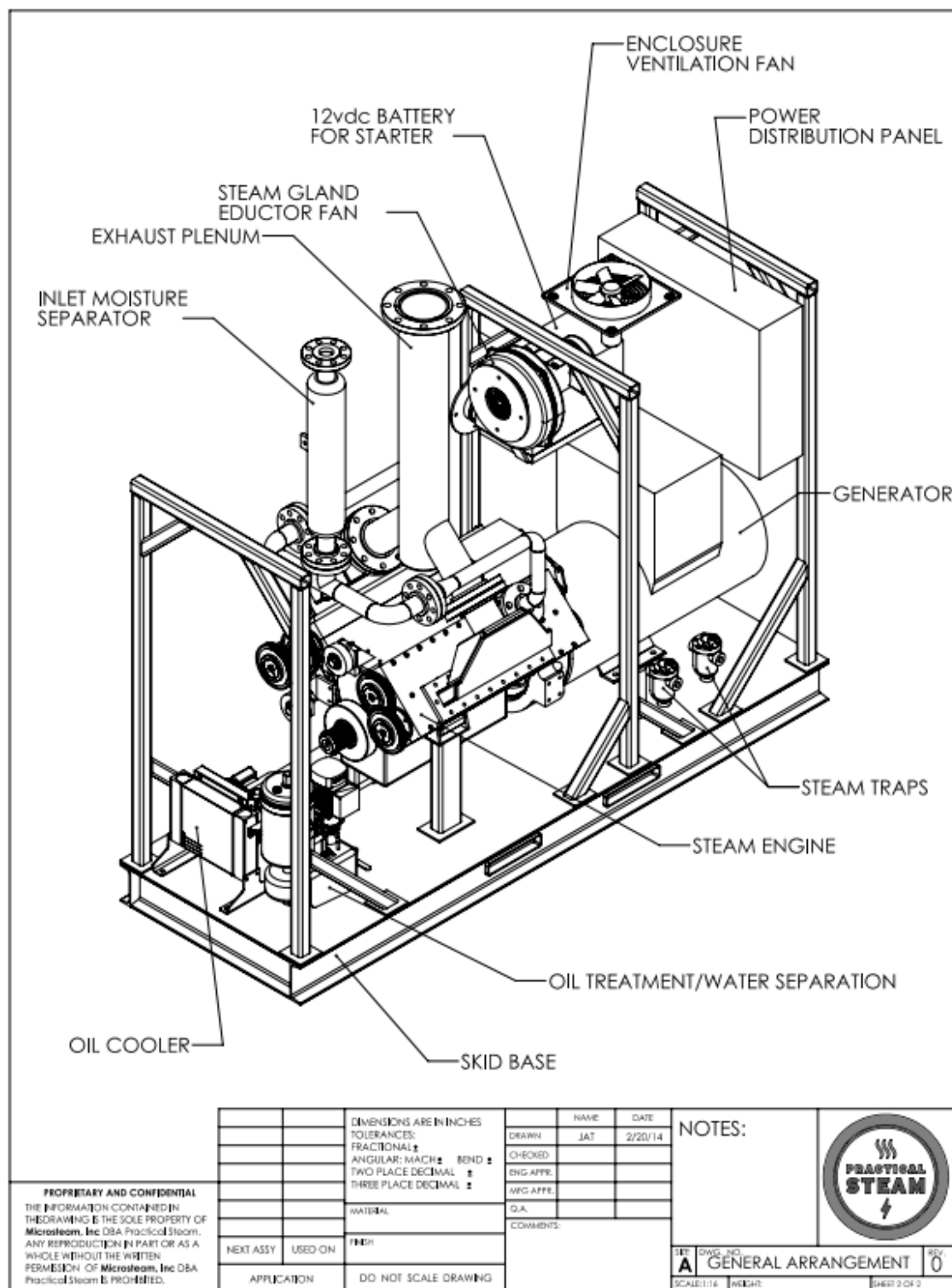
# Anexo G: Practical Steam

## G.1 Simulações de desempenho



## G.2 Desenho do equipamento





## G.3 Proposta apresentada



### Practical Steam Engine Proposal, Revision 1

Date:	June 5, 2015	Proposal No:	PSQ-15041, Rev 1
Attention:	Daniel Tavares	Created By:	Andy Dart
Company:	Continental AG	Phone:	206-981-3015
Email:	Daniel.tavares-ext@conti.de	Email:	adart@practicalsteam.com

#### Proposal Description:

One (1) Back Pressure Practical Steam Engine, meeting the following requested conditions and specifications:

- Steam Flow: 5200kg/hr
- Steam Inlet Press: 19 bar
- Steam Inlet Temp: Saturated
- Exhaust Press: 7 bar and 5 bar
- Power Output: 145 kW at 7 bar exhaust pressure, 165 kW at 5 bar exhaust pressure

#### Scope of supply:

Practical Steam will include the following equipment to meet the above described conditions:

- Standard Skid for the completed system
- Lube Oil Tank, complete with auxiliary lube oil pump, filter and cooler
- DC starter, including starter batteries
- 150 kW Synchronous generator (480 volt, 60 Hz)
- Woodward EasYgen controller, enclosed in a NEMA 4 outdoor rated enclosure, including the following:

Components	Features
Circuit Breaker	HMI with color Display
1 HP Oil pump motor controller	Auto/Manual Start and Stop
.5 HP oil cooler fan controller	Complete Generator Protection
Starter motor contacts	Analog/Discrete I-O configuration
E-Stop	Power Display and Logging
Oil pump, Hand-Off-Auto	Generator Voltage, Current, PF
Generator Terminals	Utility Voltage, Current
UL Listing	Auto Synchronization

#### Practical Steam

4229 W. Marginal Way SW | Seattle, WA 98106  
PO Box 99219 | Seattle, WA 98139  
206.981.3015  
www.practicalsteam.com



### **System Cost:**

Base Proposal Price.....US \$139,750

### **Terms and Conditions:**

Progress Payments:

- 50% With Purchase Order
- 50% Upon Shipment

All invoices submitted are payable net 30 days. Factory inspections are permitted, with prior schedule.

FOB: Seattle, WA

Delivery: 16-20 weeks after receipt of order

Validity: 30 days

Best regards,

**Andy Dart**

Practical Steam

[www.practicalsteam.com](http://www.practicalsteam.com)

Phone: (206) 981-3015

Mobile: (513) 646-9478

[adart@practicalsteam.com](mailto:adart@practicalsteam.com)